



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

**INGENIERÍA INDUSTRIAL:
MAQUINAS Y ESTRUCTURAS**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO FIN DE CARRERA

**Interacción de ANSYS con
entornos de ventanas a medida.
Aplicación al campo de la
Ingeniería Mecánica**

Autor: Francisco González Solís

Diciembre 2010

Tutores: Dra. Carolina Álvarez Caldas

Índice

Pág.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1.	Introducción	1
1.2.	Objetivos del proyecto	2
1.3.	Estructura del proyecto	3

CAPITULO II

2. LOS ELEVADORES DE CANGILONES

2.1.	Historia de los transportadores y elevadores	6
2.2.	Dispositivos de transporte	9
2.3.	Componentes de un elevador de cangilones	10
2.3.1.	Órgano Tractor	11
2.3.2.	Cangilón	12
2.3.3.	Cabeza	13
2.3.4.	Bota	15
2.3.5.	Caja	16
2.3.6.	Unidad de accionamiento	18
2.3.7.	Fijaciones	19
2.3.7.1.	Fijaciones del cangilón a la banda	19
2.3.7.2.	Fijaciones de las bandas elevadoras	20
2.4.	Clasificación	21
2.4.1.	La construcción y trayectoria de los cangilones:	21
2.4.2.	El tipo de carga de los cangilones:	23
2.4.3.	El tipo de descarga de los cangilones:	24
2.5.	Cálculos para un elevador de cangilones	27
2.5.1.	Flujo del material transportado	27
2.5.2.	Potencia de accionamiento	29
2.5.3.	Tensión máxima de la banda	29
2.6.	Elementos auxiliares de control	31

CAPITULO III

3. PROGRAMACIÓN HOJA DE CÁLCULO EN EXCEL CON VB

3.1.	Introducción.....	33
3.2.	Características principales de Microsoft Excel.....	35
3.3.	Ventajas e inconvenientes de Microsoft Excel.....	36
3.4.	Programación software de dimensionamiento.....	37
3.4.1.	Requisitos y ejecución del programa.....	37
3.4.2.	Paso 1. DATOS DE ENTRADA.....	39
3.4.2.1.	Material.....	40
3.4.2.2.	Capacidad (Q).....	40
3.4.2.3.	Altura (H).....	41
3.4.3.	Paso 2. RESTRICCIONES DEL MATERIAL.....	41
3.4.4.	Paso 3. TIPO DE CANGILÓN.....	41
3.4.5.	Paso 4. MODELO DE ELEVADOR.....	43
3.4.6.	Paso 5. AJUSTE DEL PASO DEL ELEVADOR (t).....	45
3.4.7.	Paso 6. CÁLCULO ANCHO DE LA CORREA (A_{CORREA}).....	46
3.4.8.	Paso 7. CÁLCULO LONGITUD DE LA CORREA (L_{CORREA}).....	47
3.4.9.	Paso 8. CÁLCULO DE LA FUERZA SOBRE LA CORREA.....	47
3.4.10.	Paso 9. CÁLCULO DE LA TENSION EN LA CORREA (T).....	48
3.4.11.	Paso 10. MODELO DE CORREA.....	48
3.4.12.	Paso 11. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR (P).....	50
3.4.13.	Paso 12. MODELO DE MOTORREDUCTOR.....	50
3.4.14.	Paso 13. ELEMENTOS AUXILIARES DE CONTROL.....	52
3.4.15.	GENERACION DE INFORMES FINALES.....	52

CAPITULO IV

4. PARAMETRIZACIÓN Y ANALISIS CON METODOS ELEMENTOS FINITOS

4.1.	Introducción.....	55
4.1.1.	El análisis por elementos finitos y el MEF.....	56
4.1.2.	Resumen Histórico.....	57
4.1.3.	Que es y en qué consiste el MEF.....	59
4.1.4.	Cómo trabaja el Método de los Elementos Finitos.....	61
4.1.5.	Resultados del MEF.....	63
4.1.6.	Tipos de análisis ingenieriles.....	64

4.1.7.	Aplicación de AEF a la ingeniería mecánica	65
4.2.	ANSYS	70
4.2.1.	Introducción	70
4.2.2.	Características y desventajas de ANSYS	72
4.3.	PROBLEMAS DE TIPO NO LINEAL EN MEF	74
4.3.1.	Introducción	74
4.3.2.	Teorías que caracterizan los modelos hiperelásticos de material.....	74
4.4.	PARAMETRIZACIÓN	78
4.4.1.	Introducción	78
4.4.2.	¿Qué parametrizar?	79
4.4.3.	Parametrización del modelo	79
4.4.3.1.	Tipo de análisis	80
4.4.3.2.	Selección del tipo de material y sus constantes.....	81
4.4.3.3.	Selección de las propiedades del material.....	83
4.4.3.4.	Modelado de la banda.....	86
4.4.3.5.	Mallado del modelo	89
4.4.3.6.	Restricciones sobre el modelo	90
4.4.3.7.	Cargar que afectan al modelo.....	93

CAPITULO V

5. EJEMPLO DE CÁLCULO

5.1.	Instalación de una planta de tratamiento de grano de café.....	95
5.2.	Ejecución y Resultados del Software	96
5.3.	Análisis de elementos finitos con ANSYS	107

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1.	Conclusiones finales	111
6.2.	Trabajos futuros	112

CAPITULO VII

7. BIBLIOGRAFÍA

7.1.	Referencias bibliográficas	113
7.2.	Referencias vía Web	114

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Shadoof.....	7
Figura 2. Saqiya.....	8
Figura 3. Elevadores de cangilones: a) vertical; b) y c) inclinados.	10
Figura 4. Elevador de cangilones.....	11
Figura 5. Cangilón.....	12
Figura 6. Tipos de cangilones.....	13
Figura 7. Partes de la cabeza.....	14
Figura 8. Cabeza de un elevador de cangilones.....	15
Figura 9. Partes de la bota.....	15
Figura 10. Bota de un elevador de cangilones.....	16
Figura 11. Partes de la caja.....	17
Figura 12. Caja o envoltura de un elevador de cangilones. a) doble; b) simple.....	18
Figura 13. Acoplamiento del motorreductor al tambor accionador.	19
Figura 14. Bulones para la fijación del cangilón a la banda.....	19
Figura 15. Unión superpuesta.....	20
Figura 16. Unión yuxtapuesta.....	20
Figura 17. Unión en ángulo.....	21
Figura 18. Unión en cangilón.....	21
Figura 19. Tipos de elevadores de cangilones según construcción y trayectoria; a) vertical; b) y c) inclinados; d) basculante.....	22
Figura 20. Carga por arriba o directamente desde una tolva.....	23
Figura 21. Carga mixta o por dragado.....	23
Figura 22. Descarga por lanzamiento o centrifuga.....	24
Figura 23. Elevador de cangilones descargando por lanzamiento.....	24
Figura 24. Descarga libre por gravedad.....	25
Figura 25. Descarga dirigida por gravedad.....	26
Figura 26. Variador de frecuencia de control vectorial.....	31
Figura 27. Indicador rotativo de nivel.....	32
Figura 28. Equipo de monitoreo de la velocidad y la alineación de la banda.	32
Figura 29. Ejemplo de Hoja de cálculo.....	34
Figura 30. Microsoft Excel.....	35
Figura 31. Icono ejecutable del programa.....	38
Figura 32. Ventana inicio del programa.....	38
Figura 33. Instrucciones de uso del programa.....	39
Figura 34. Ventana Paso 1. Datos de entrada.....	39
Figura 35. Mensaje de error de capacidad.....	41

Figura 36. Mensaje de error de altura.....	41
Figura 37. Ventana Paso 2. Restricciones Material.....	41
Figura 38. Ventana Paso 3. Tipo de cangilón.....	42
Figura 39. Tipos de cangilones disponibles.....	43
Figura 40. Ventana Paso 4. Modelo de elevador.....	44
Figura 41. Ventana Paso 5. Ajuste del paso del elevador (t).....	45
Figura 42. Ventana paso 5, con paso dentro de normativa.....	46
Figura 43. Ventana paso 5, con paso fuera de normativa.....	46
Figura 44. Ventana Paso 6. Cálculo del ancho de la correa (A_{CORREA}).....	47
Figura 45. Ventana Paso 7. Cálculo de la longitud de la correa (L_{CORREA}).....	47
Figura 46. Ventana Paso 8. Cálculo de la fuerza sobre la correa (F).....	48
Figura 47. Ventana Paso 9. Cálculo de la tensión en la correa (T).....	48
Figura 48. Ventana Paso 10. Modelo de correa.....	49
Figura 49. Ventana Paso 11. Cálculo de la potencia del motor (P).....	50
Figura 50. Ventana Paso 12. Modelo de motorreductor.....	51
Figura 51. Ventana Paso 13. Elementos auxiliares de control.....	52
Figura 52. Generación de informes finales.....	52
Figura 53. Informe resumen.....	54
Figura 54. Esquema para utilizar un AEF.....	56
Figura 55. Ejemplos de AEF y MEF.....	57
Figura 56. ANSYS.....	70
Figura 57. Interfaz de ANSYS.....	71
Figura 58. Ventana ANSYS. Tipo de análisis.....	81
Figura 59. Geometría del elemento SHELL 181.....	82
Figura 60. Ventana ANSYS. Real Constants.....	82
Figura 61. Ventana ANSYS. Define Material Model Behavior.....	83
Figura 62. Ventana ANSYS. Introducción constantes Mooney-Rivlin.....	84
Figura 63. Ventana ANSYS. Introducción grafica tensión-deformación y cálculo de las constantes Mooney-Rivlin.....	85
Figura 64. Contorno de la banda en ANSYS.....	87
Figura 65. Modelado de la banda en ANSYS.....	89
Figura 66. Mallado de la banda en ANSYS.....	90
Figura 67. Ejemplo de las restricciones en el parte superior de banda en ANSYS.....	93
Figura 68. Ejemplo de las cargas que actúan sobre la banda en ANSYS.....	94
Figura 69. Introducción datos de entrada.....	96
Figura 70. Restricciones del material.....	96
Figura 71. Selección del tipo de cangilón.....	97
Figura 72. Selección modelo del elevador.....	97
Figura 73. Cálculo del paso del elevador.....	98

Figura 74. Cálculo del ancho de la banda.....	98
Figura 75. Cálculo de la longitud de la banda.....	98
Figura 76. Cálculo de la fuerza sobre el elevador.....	99
Figura 77. Cálculo de la tensión (esfuerzo axial) en la correa.....	99
Figura 78. Selección del modelo de correa para el elevador.....	100
Figura 79. Cálculo de la potencia del motor.....	100
Figura 80. Selección del modelo de motorreductor.....	101
Figura 81. Selección de los elementos auxiliares.....	101
Figura 82. Archivos generados por el programa.....	102
Figura 83. Archivo .txt, con el elevador parametrizado.....	102
Figura 84. Informe final con los resultados del programa.....	106
Figura 85. Desplazamientos en la banda.....	107
Figura 86. Análisis tensional de la banda.....	108
Figura 87. Puntos de máxima tensión en la banda.....	108
Figura 88. Contour Nodal Solution Data de ANSYS.....	109
Figura 89. Captura de pantalla del video con el ejemplo de cálculo.....	110

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Selección del elevador según el material.....	26
Tabla 2. Valor de H_o	29
Tabla 3. Valores del coeficiente k	29
Tabla 4. Valores del coeficiente de fricción.....	30
Tabla 5. Características del material.....	40

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

El diseño, modelado y simulación de sistemas mecánicos utilizando medios informáticos, es un hecho que ha tenido un gran avance y desarrollo en los últimos años.

De hecho, la no utilización de *software* específico para el diseño, fabricación, etc., no se concibe en la actualidad, ya que estas herramientas informáticas proporcionan, entre otras muchas ventajas, una mayor precisión, reducción de los tiempos de trabajo y la posibilidad de realizar cambios en la fase de diseño, es decir, antes de llegar a fases posteriores del proyecto, aspecto muy importante en la industria ya que repercute en un ahorro económico.

La introducción de herramientas computacionales en el mundo del diseño mecánico no sólo permite la creación de sistemas mecánicos de una forma mucho más eficiente, sino que además, permite analizar el comportamiento dinámico que tendrá el sistema, mediante programas de elementos finitos, detectando cualquier anomalía en su funcionamiento, permitiendo así corregirlo y evitar que estos problemas aparezcan en fases más avanzadas donde serían mucho más difíciles y costosos de solucionar.

Otra de las grandes aplicaciones de estas herramientas se encuentra en el campo de la enseñanza, donde cada vez es más común la incorporación de medios informáticos y audiovisuales. Los principales motivos de esta tendencia son, por una parte, crear un

entorno más atractivo para el alumno, que facilite su aprendizaje y, por otra, ayudar al profesor en su tarea de enseñar, ya que facilitan en gran medida la visualización y la comprensión de los sistemas mecánicos y su funcionamiento.

Los transportadores y elevadores resultan de gran trascendencia para el ingeniero mecánico, dada su importancia desde el punto de vista industrial, así como desde la perspectiva académica, ya que este tema agrupa enseñanzas relacionadas con la mecánica, la hidráulica, la electrotecnia y la resistencia de materiales. Por esta razón se ha elegido un elevador de cangilones como ejemplo de los desarrollos propuestos en este trabajo.

El presente proyecto desarrolla, por un lado, un programa para el dimensionamiento de un elevador de cangilones, con las especificaciones deseadas, mediante la programación de una hoja de cálculo (Microsoft Office Excel y Visual Basic), y por otro lado un estudio de los esfuerzos y deformaciones, producidos en el mismo, mediante el programa de MEF (Métodos Elementos Finitos), Ansys.

1.2. Objetivos del proyecto

Este proyecto tiene tres objetivos principales, relacionados entre sí, como se podrá ver más adelante.

Primero, se podrá dimensionar un elevador de cangilones a la medida de cada usuario, lo que se llevara a cabo mediante la programación de una hoja de cálculo, pudiendo finalmente mostrar la configuración final del elevador, es decir, indicará el tipo de cangilón, el modelo de elevador, el modelo de correa, etc., más adecuado para las necesidades de cada usuario, por lo que la creación de este programa de dimensionamiento de un elevador de cangilones en una hoja de cálculo, podría ser utilizado como *software* por los vendedores de este tipo de maquinaria.

Segundo, el elevador que acaba de ser configurado y dimensionado en la hoja de cálculo, va a ser sometido a un estudio de tensiones mediante un MEF (Método Elementos Finitos), que se realizara con el programa ANSYS, y para ello es necesario este segundo objetivo, que no es el estudio tensional en sí, sino parametrizar el modelo

que se dimensiona, para poder generar y estudiar automáticamente cualquier tipo de elevador que se configure en la hoja de cálculo. Así, con este rápido estudio tensional, gracias a la parametrización, se podrán ver los puntos más críticos del elevador desde el principio, pudiendo así optimizar su diseño al máximo.

El tercer objetivo es conseguir que el análisis tensional pueda realizarse de forma automática, sin intervención del usuario. De esta forma, sería posible, para una persona con escasos conocimientos del manejo de ANSYS, realizar un estudio por elementos finitos del elevador. Este tercer objetivo se conseguirá gracias a la parametrización realizada sobre el modelo, de forma que la aplicación de Visual Basic generará un fichero de texto que pueda ser directamente leído por el software de elementos finitos y que permita crear completamente el modelo.

En resumen, el objetivo fundamental del proyecto es:

- Crear un programa que dimensione y parametrize un elevador de cangilones mediante las herramientas que ofrecen las hojas de cálculo y la programación de las mismas, en Visual Basic. Este programa generará un modelo de elementos finitos que podrá ser estudiado posteriormente mediante ANSYS, sobre el cual se podrá interactuar, observar los puntos más críticos, y entender mejor cómo se comporta.

1.3. Estructura del proyecto

El proyecto se distribuye en los siguientes capítulos:

Capítulo I:

INTRODUCCION

Este capítulo expone la introducción y los objetivos del proyecto, así como la estructura del mismo.

Capítulo II:

LOS ELEVADORES DE CANGILONES

A lo largo de este capítulo se mostrarán los conceptos generales, inicios y clasificación de los elevadores de cangilones, cómo surgió la necesidad del elevador vertical; así como componentes, distintos tipos de elevadores y cálculos generales del mismo.

Capítulo III:

PROGRAMACION HOJA DE CÁLCULO EN EXCEL CON VB

Este capítulo desarrolla las funciones básicas de una hoja de cálculo de Microsoft Excel y de Visual Basic. Se realiza la programación de la hoja de cálculo con las distintas opciones necesarias para poder dimensionar por completo el elevador y posteriormente poder ser parametrizado.

Capítulo IV:

PARAMETRIZACION Y ANALISIS CON METODOS ELEMENTOS FINITOS

Este capítulo desarrolla los elementos fundamentales del programa de elementos finitos Ansys. El objetivo fundamental es la exposición de unas nociones básicas para el uso del programa de elementos finitos, y a través de estas nociones comprender los pasos necesarios para llegar al modelado del elevador de cangilones y su parametrización.

Capítulo V:

EJEMPLO DEL PROGRAMA

Este capítulo muestra los resultados obtenidos en los dos capítulos anteriores, es decir, se definirán unos parámetros de entrada al programa, como material a transportar, capacidad a transportar (m^3/h) y altura a elevar (m), y se

irán viendo los resultados que el programa va dando en base a lo programado tanto en el capítulo III como en el capítulo IV, es decir, servirá de guía para cualquier usuario que posteriormente desee utilizar el programa.

Capítulo VI:

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este último capítulo, se expondrán las conclusiones finales y los trabajos futuros a partir de este proyecto, que abarcan materias como programación en VB, los métodos de elementos finitos y los elevadores de cangilones.

CAPÍTULO II

2. LOS ELEVADORES DE CANGILONES

2.1. Historia de los transportadores y elevadores

Los comienzos del transporte son tan antiguos como la Humanidad misma. En este sentido se puede decir que el primer medio de transporte fue el propio hombre o quizás, más a menudo, la mujer, asumiendo el cometido de "animal de carga". De un transporte sobre los hombros o sobre la cabeza, se evoluciona al empleo de elementos auxiliares, como yugos y largueros para los hombros, o como sacas para colocar sobre las espaldas.

Pronto es el animal quien sustituye al ser humano en la tarea del transporte de carga. Con ello no se consigue un incremento en la velocidad del desplazamiento, pero sí en el volumen de la carga por un doble motivo: un sólo animal es capaz de transportar mayor peso que el hombre, y cada hombre puede guiar simultáneamente a varios animales. El camello ha sido el animal de carga por excelencia, y lo continúa siendo en aquellos casos en que se precisa el transporte terrestre, y se carece de vehículos a ruedas o de carretas para ello.

Con anterioridad a la invención de la rueda, el transporte pesado se lleva a cabo mediante arrastre, en aquellos casos en que no es posible el ajuste de la carga sobre el lomo de animal. Pronto se impone el empleo del trineo, especialmente en aquellas latitudes expuestas a la nieve y al hielo. Con la ventaja de que la carga así arrastrada puede ser más del doble de la máxima carga que el respectivo animal podría transportar sobre su lomo. En lo que se refiere a dispositivos de elevación fueron las palancas, las poleas, los rodillos y los planos inclinados los más utilizados.

Los elevadores de palanca, prototipos primitivos de los aparatos elevadores actuales con una pluma en voladizo se utilizaban en el siglo XXII a.C.

Hacia 1550 a.C. se generaliza en Egipto y Mesopotamia el empleo del shadoof, un mecanismo de palanca utilizado para elevar el agua procedente de los ríos con el fin de regar los campos, como se puede observar en la Figura 1.

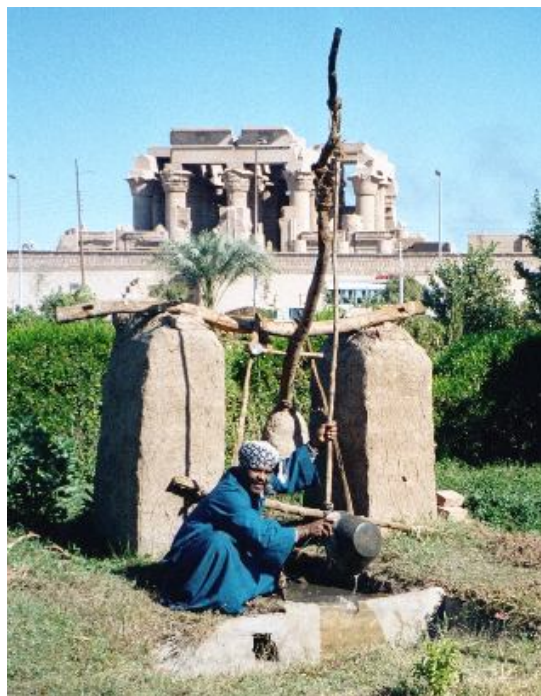


Figura 1. Shadoof

El shadoof es una forma más compleja de una construcción basada en la palanca. Sobre una columna fija, se monta una palanca de dos brazos alrededor de un eje que puede girar en dirección horizontal.

Los dispositivos como el elevador de cangilones y el tornillo sin fin, accionados por bueyes o por la corriente de un río no serían utilizados hasta el siglo II a.C. y el siglo III a.C. respectivamente.

El periodo grecorromano (siglo X a.C. a siglo V d.C.) constituye una etapa de gran impulso en la evolución de la tecnología de la elevación. Un elemento clave para la elevación es la polea compuesta.

Tres inventores griegos deben ser mencionados en la historia de la elevación: Ctesibio, padre de la hidráulica; Arquímedes, descubridor del tornillo sin fin; y Herón de Alejandría, inventor de la polea compuesta.

En el siglo II a.C. se utilizaba en Egipto la llamada rueda persa o saqiya, Figura 2, que consistía esencialmente en recipientes dispuestos alrededor de la circunferencia de una rueda, la cual giraba mediante energía humana o animal, introduciéndolos en el agua, sin duda el primer prototipo de nuestro actual elevador de cangilones [1].

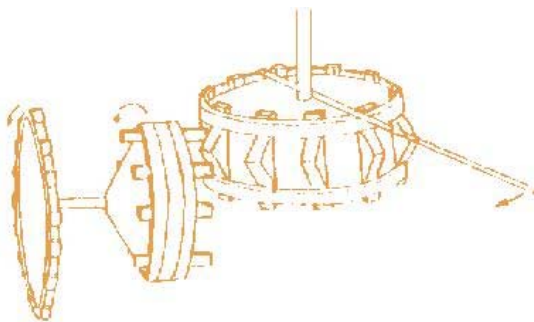


Figura 2. Saqiya.

2.2. Dispositivos de transporte

Los dispositivos transportadores que desplazan material en dirección vertical o próxima a la vertical, se llaman elevadores. Dentro de estos se pueden encontrar:

- Elevadores simples
- Bandas transportadoras
- Carretillas elevadoras
- Plataformas elevadoras
- Transporte por cable (Teleféricos, funiculares, ...)

Dentro de los elevadores simples, se encuentran:

- *Elevadores de cangilones*
- Dispositivos de gravedad
- Transportes vibratorios
- Transportadores de tornillo sin fin
- Transportadores neumáticos e hidráulicos

Los elevadores de cangilones (Figura 3) son los sistemas más utilizados para el transporte vertical de materiales a granel, secos, húmedos e incluso líquidos. Son diseñados con amplias opciones de altura, velocidad y detalles constructivos según el tipo de material que tienen que transportar. Los elevadores de cangilones se montan en módulos para permitir definir de manera más eficaz la altura útil necesaria. La altura a la que pueden desplazar la carga varía, desde los 3 metros para pequeñas plantas

clasificadoras de cereales, hasta los 70 metros correspondientes a las instalaciones de puertos y grandes plantas de acopio.

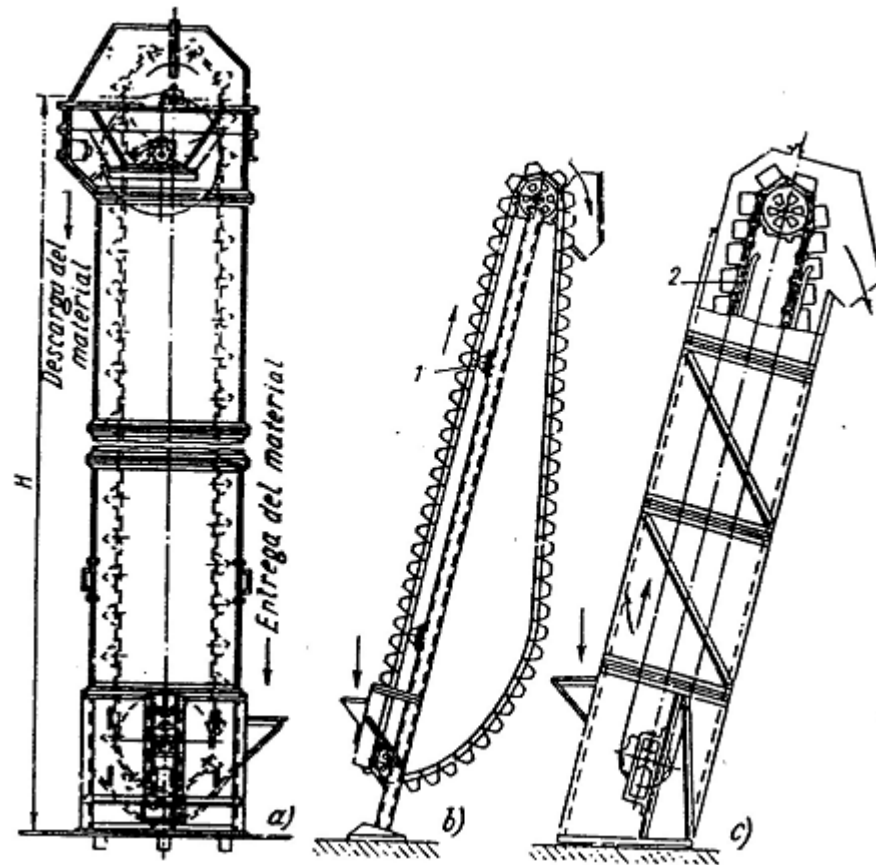


Figura 3. Elevadores de cangilones: a) vertical; b) y c) inclinados.

Los elevadores de cangilones han encontrado un gran campo de aplicación en los depósitos de grano, en la producción alimenticia, en la producción de materiales de construcción, en la industria química, etc [2].

2.3. Componentes de un elevador de cangilones

En la Figura 4 se muestran los componentes más importantes que constituyen un elevador de cangilones [3].

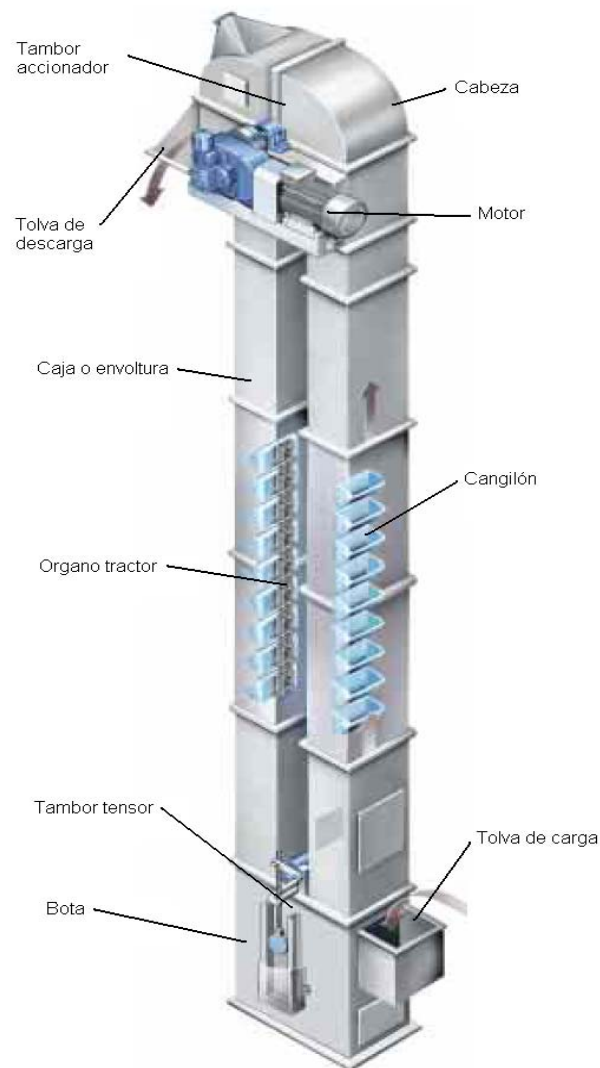


Figura 4. Elevador de cangilones

2.3.1. Órgano Tractor

Como órgano de tracción de los elevadores puede servir una cadena o una banda transportadora. Éste será el encargado de transmitir el movimiento proporcionado por el tambor de accionamiento y sobre la cual van montados los cangilones.

La elección del tipo de órgano de tracción entre cadena o banda, se condiciona por la característica del elevador y de la carga.

Las principales ventajas que ofrece la banda con respecto a la cadena son:

- Menor desgaste.
- Funcionamiento silencioso.
- Capacidad específica de transporte elevada.
- Consumo menor de energía.
- Lo más apropiado para la manipulación de harina cruda, carbón, etc.
- Velocidades de desplazamiento elevadas (hasta 2,5 m/s).

2.3.2. Cangilón

El desplazamiento de la carga a granel se efectúa con los cangilones (Figura 5). Su tamaño y perfil están normalizados según DIN, existiendo varios diseños y perfiles dependiendo de la naturaleza del producto y la carga a transportar. Las medidas que definen a un cangilón son principalmente el largo (A), la proyección (B), la profundidad (C), la altura hasta el labio frontal (D) y el espesor (T) [4].

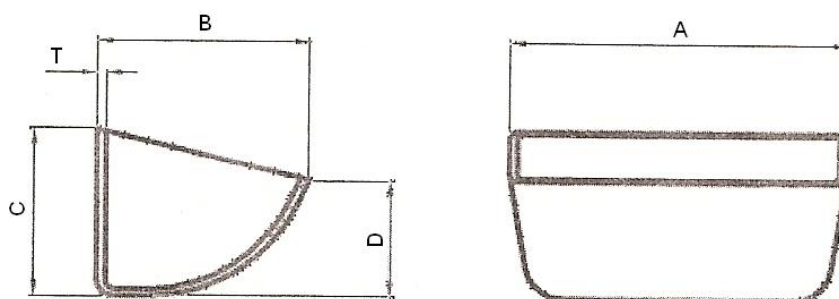


Figura 5. Cangilón

Dependiendo del material a transportar y su tendencia a apelmazarse, los cangilones se pueden clasificar en tres tipos: profundos, poco profundos y de escama (Figura 6).

Los cangilones profundos (Figura 6.a)) se emplean para los materiales que no se apelmazan y son fácilmente movedizos, como por ejemplo son los cereales.

Los cangilones de escama (Figura 6.b)) se utilizan en los elevadores con descarga dirigida por gravedad.

Los cangilones poco profundos (Figura 6.c)) se emplean para transportar materiales que se encuentran apelmazados o húmedos, como es la arcilla húmeda.

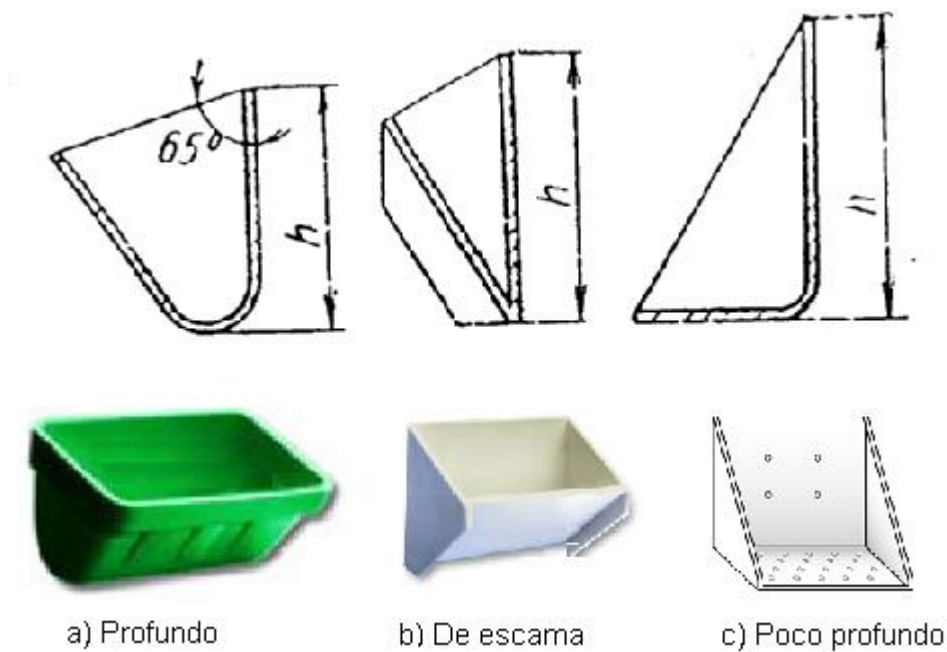


Figura 6. Tipos de cangilones

Los materiales utilizados principalmente para su fabricación son acero inoxidable, carbono al acero o plásticos tales como el Nylon, polietileno o uretano.

2.3.3. Cabeza

Es el elemento situado en la parte superior del elevador. Como muestra la Figura 7 tiene por objeto soportar el peso del motor, el tambor de accionamiento y la transmisión [5].

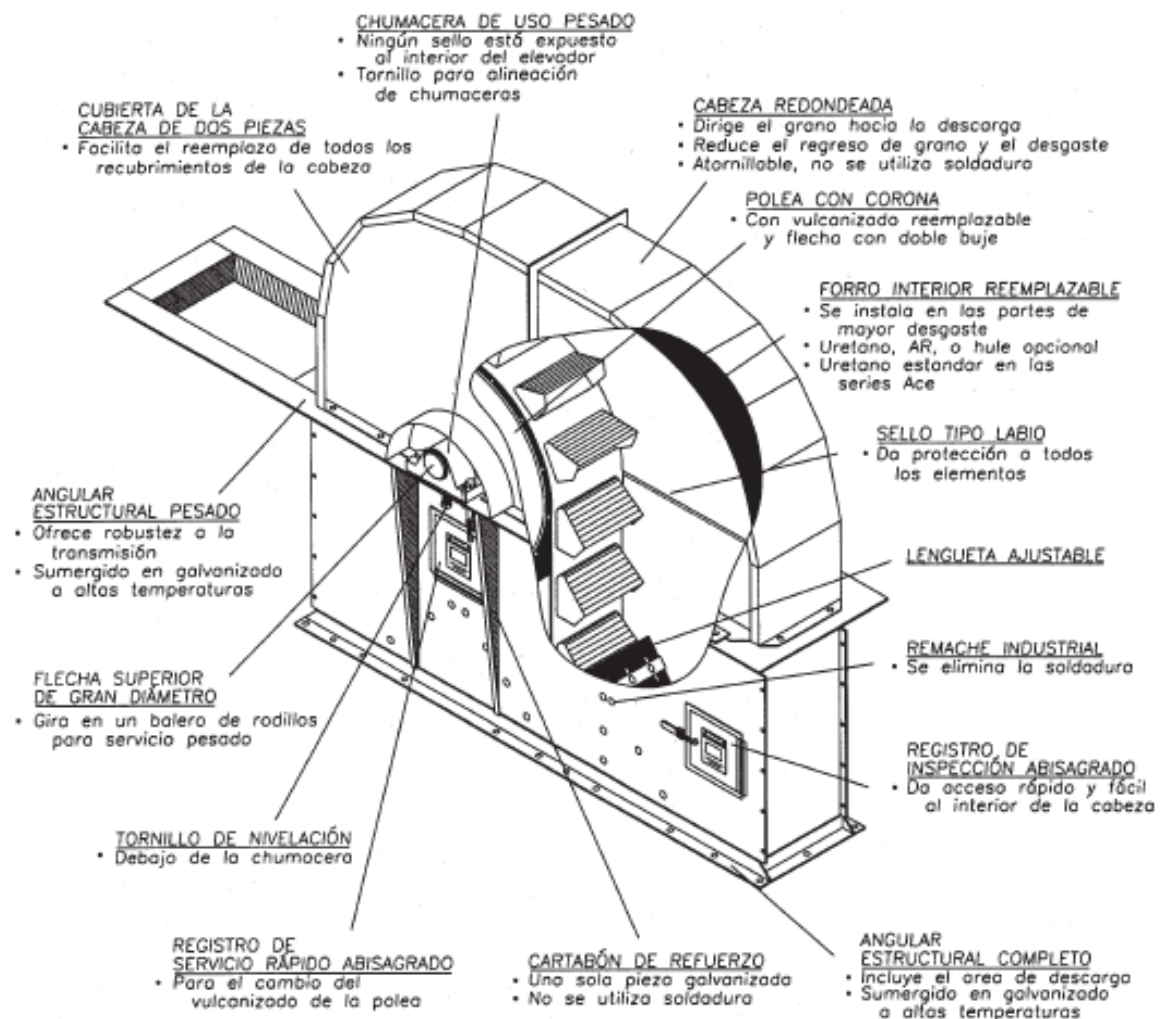


Figura 7. Partes de la cabeza

La cabeza (Figura 8) consiste en una estructura metálica fabricada en acero que tiene el perfil adecuado para adaptarse a la trayectoria del material transportado durante su descarga. La descarga de material se realiza en la cabeza a través de la tolva de descarga.

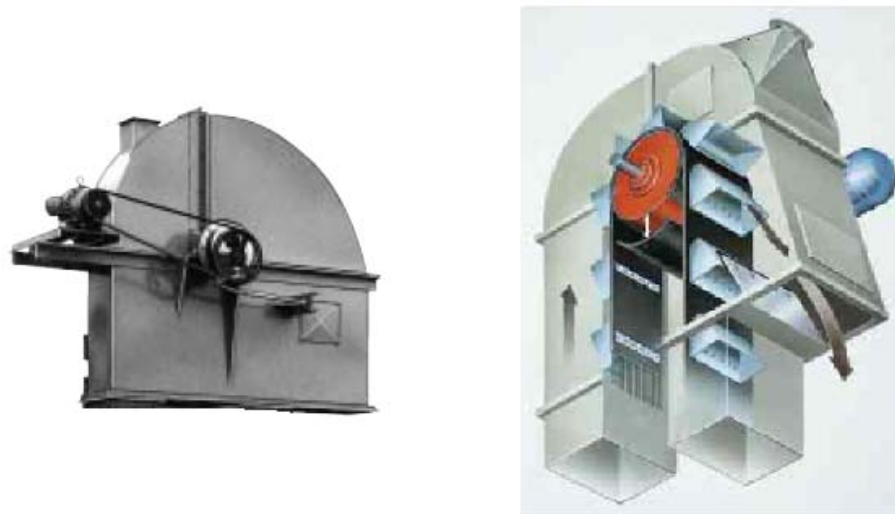


Figura 8. Cabeza de un elevador de cangilones

2.3.4. Bota

Es el elemento situado en la parte inferior del elevador, y está compuesto por las partes que se indican en la Figura 9.

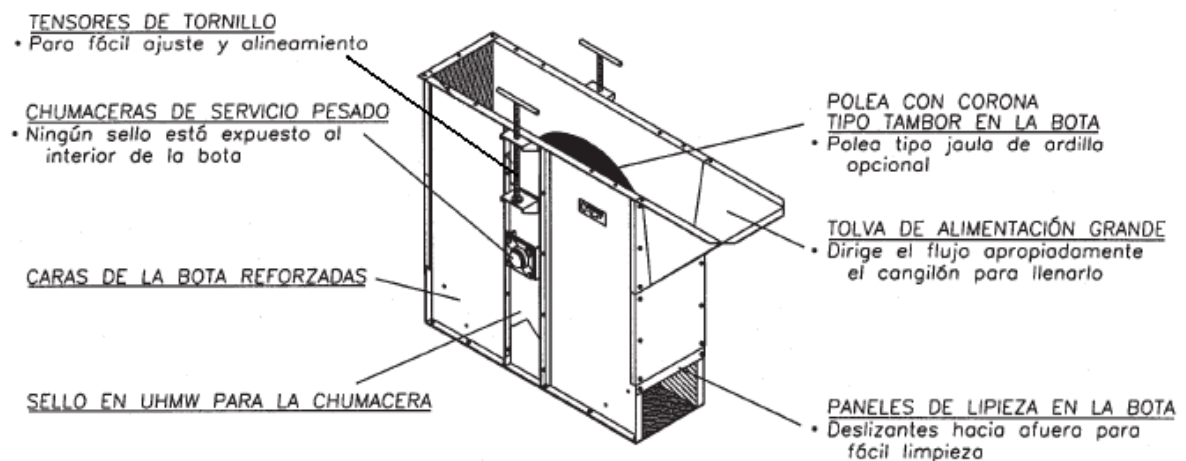


Figura 9. Partes de la bota

Está fabricado con chapas de acero en forma de caja. La carga del material se realiza en la bota a través de la tolva de carga que puede estar situada en la parte superior, inferior o en ambas partes de la bota. La bota (Figura 10) contiene el tambor tensor, que tiene como misión el guiar y tensar el órgano tractor (banda o cadena).

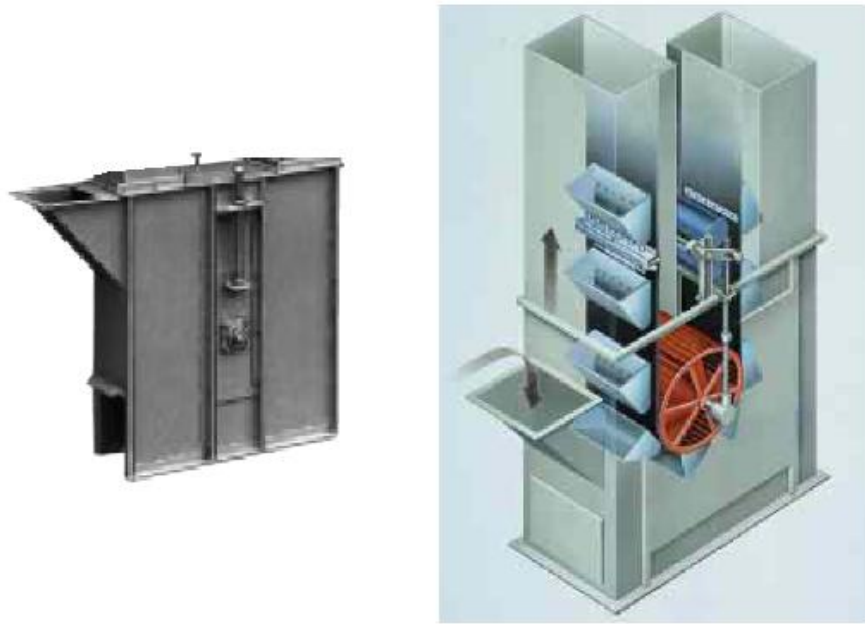


Figura 10. Bota de un elevador de cangilones

2.3.5. Caja

En la caja se pueden diferenciar las partes que se muestran en la Figura 11.

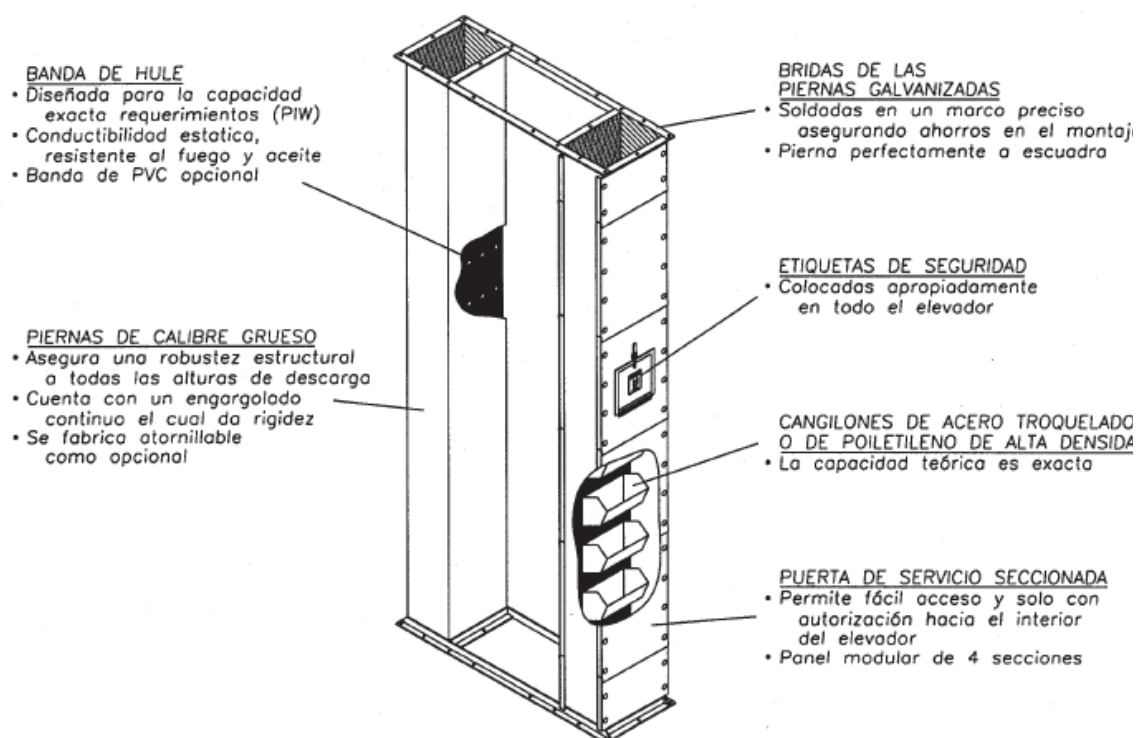


Figura 11. Partes de la caja

La caja o envoltura (Figura 12) está formada por estructuras metálicas intermedias que tienen como función proteger los elementos que forman el elevador de cangilones (órgano tractor, cangilones, etc.), así como de dar rigidez a todo el conjunto. Dichas estructuras se pueden clasificar en tres tipos dependiendo de su posición en el elevador:

- Estructura o caja de ajuste. Es la que más cerca se encuentra de la cabeza. Tiene como función ajustar la distancia entre la caja estándar y la cabeza.
- Caja típica o estándar. Posee una altura que varía entre 1.5 y 2 metros.
- Caja especial. Es la que más cerca se encuentra de la bota. Tiene la misma altura que la caja típica o estándar. Dispone de paneles laterales desmontables para la inspección o cambio de los cangilones.

Estas cajas intermedias pueden contener los ramales de trabajo y libre a cada uno por separado (cajas dobles, Figura 12.a) o juntos (cajas simples, Figura 12.b).

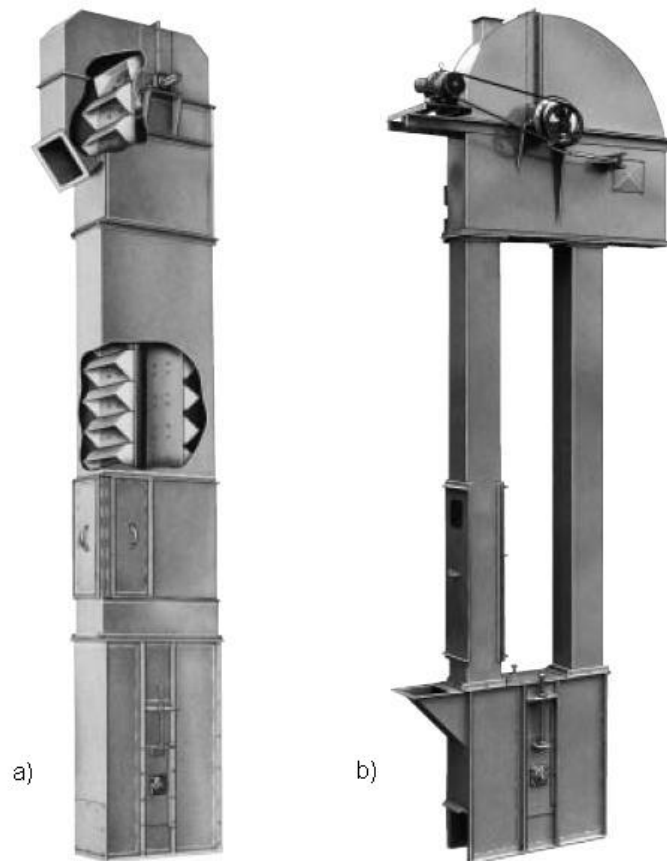


Figura 12. Caja o envoltura de un elevador de cangilones. a) doble; b) simple

2.3.6. Unidad de accionamiento

Como su nombre indica es la encargada de accionar y proporcionar movimiento al elevador, se encuentra localizada en la parte superior del elevador, está constituida por un motor y un reductor que puede estar ligado directamente al árbol del tambor de accionamiento o a través de un acoplamiento. Toda la unidad se sustenta por una plataforma construida para tal fin [6].

En la Figura 13 se muestra la disposición de todos los elementos que componen la unidad de accionamiento.

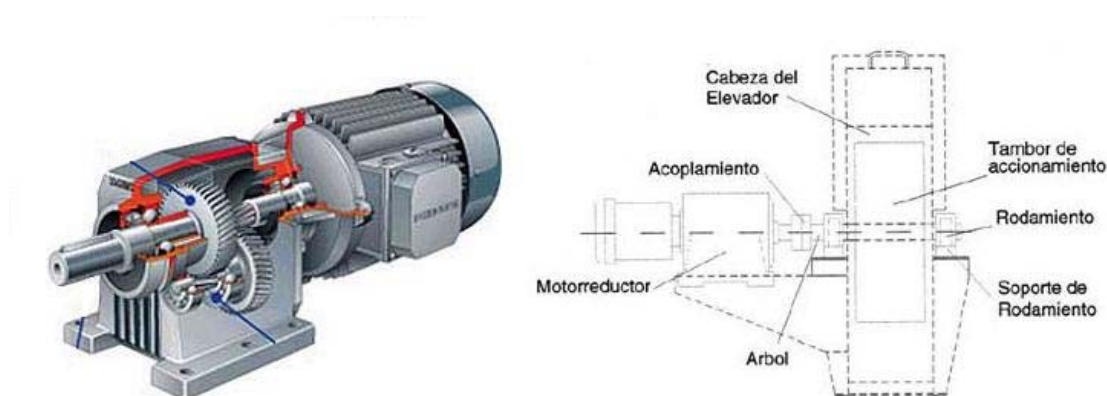


Figura 13. Acoplamiento del motorreductor al tambor accionador.

2.3.7. Fijaciones

2.3.7.1. Fijaciones del cangilón a la banda

Los cangilones se fijan en la banda mediante bulones especiales, de cabeza ancha y plana, con arandela bombeada y tuerca autofrenante (Figura 14).

El agujero realizado en la banda para la fijación de los cangilones es del mismo diámetro que el tornillo. El cangilón debe poseer una porción embutida anular a la perforación y que permita el alojamiento de la cabeza del bulón y de la banda, para que dicha cabeza no sobresalga de la superficie interna de la banda. Este hecho puede ocasionar el aflojamiento de los bulones, así como la pérdida de adherencia al tambor de accionamiento cuando el mismo no se encuentra recubierto.

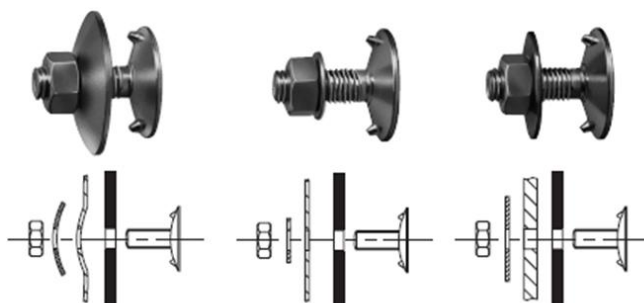


Figura 14. Bulones para la fijación del cangilón a la banda

2.3.7.2. Fijaciones de las bandas elevadoras

Las uniones de las bandas elevadoras se pueden realizar de distintas formas:

- **Superpuesta** (Figura 15)

Este tipo de unión se utiliza en bandas sometidas a bajas tensiones de servicio en el que una parte de un extremo de la banda se superpone al otro en una longitud al menos igual al ancho de la banda. Se recomienda verificar la proyección del cangilón en la zona de la unión debido al mayor espesor de la banda. En general se utilizan los mismos bulones del cangilón para lograr la unión.



Figura 15. Unión superpuesta

- **Yuxtapuesta** (Figura 16)

Este tipo de unión se utiliza en bandas de poco espesor. Se unen los extremos de la banda, colocándose sobre ellas otro trozo de banda de igual ancho y de largo tal que tome al menos un cangilón por lado. Al igual que en el caso anterior, la proyección de los cangilones se verá incrementada en el espesor de la banda añadida.



Figura 16. Unión yuxtapuesta

- **Vulcanizada**

Este tipo de unión se utiliza cuando los rangos de tensión son elevados.

- **Metálica**

En el caso de que las tensiones de trabajo no superen el 50 % de la nominal de la cinta, se emplean broches metálicos convencionales. Este tipo de unión proporciona un servicio más silencioso que los de las uniones superpuestas o yuxtapuestas.

- En ángulo (Figura 17)

Es una unión muy práctica, teniendo el diseño del ángulo variadas dimensiones de acuerdo a la norma a utilizar. Su funcionamiento es silencioso y el radio de doblado está determinado por el espesor de la banda.



Figura 17. Unión en ángulo

- En cangilón (Figura 18)

La unión entre los extremos de la banda la realiza el mismo tornillo que sujeta el cangilón. Se utiliza en condiciones de trabajo de baja exigencia.



Figura 18. Unión en cangilón

2.4. Clasificación

Según la norma UNE 58-222-87 los elevadores de cangilones se pueden clasificar en tres grandes grupos atendiendo a:

2.4.1. La construcción y trayectoria de los cangilones:

- Elevadores de cangilones verticales (Figura 19.a).

Están destinados al transporte de material vertical o inclinado con un ángulo menor de 20° con respecto al eje vertical. Son sencillos por su construcción y no necesitan (como es indispensable en los elevadores inclinados) una envoltura de forma compleja o dispositivos de apoyo especiales para el ramal libre.

- Elevadores de cangilones inclinados (Figura 19.b y .c).

Están destinados al transporte de material a lo largo de una trayectoria rectilínea que presenta una inclinación con un ángulo de 55° a 70° con respecto al eje horizontal. En los elevadores inclinados el ramal de trabajo se mueve por los rodillos de apoyo 1, (Figura 19.b) o por las guías especiales 2, (Figura 19.c). El ramal libre pende o también se mueve a través de dispositivos soporte.

- Transportadores de cangilones basculantes en plano vertical (Figura 19.d).

Están destinados al transporte de material entre dos puntos situados en un mismo plano vertical y niveles diferentes.

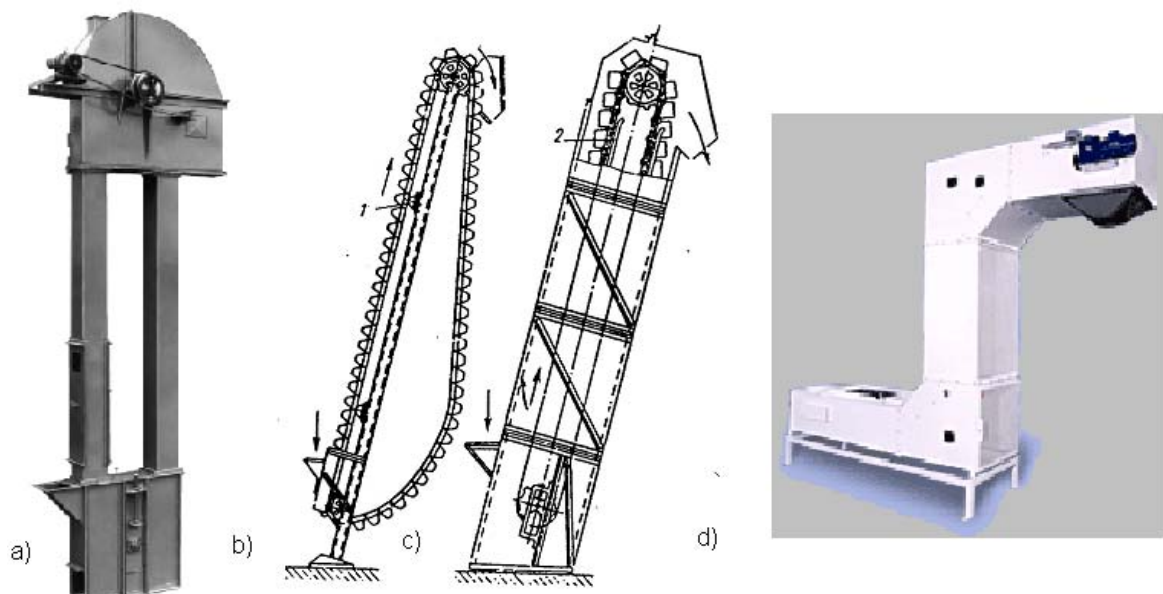


Figura 19. Tipos de elevadores de cangilones según construcción y trayectoria;
a) vertical; b) y c) inclinados; d) basculante

2.4.2. El tipo de carga de los cangilones:

- Carga por arriba o directamente desde la tolva (Figura 20).

Se emplea para el transporte de materiales de pedazos grandes y abrasivos. La velocidad de desplazamiento del órgano de tracción es baja.

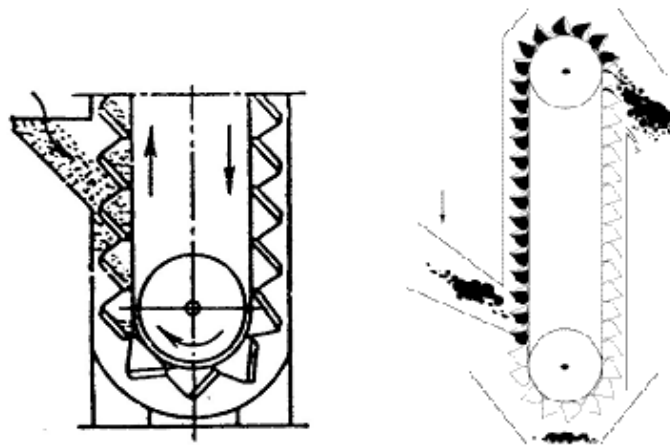


Figura 20. Carga por arriba o directamente desde una tolva

- Carga mixta o carga por dragado (Figura 21).

Se emplea para el transporte de materiales que no ofrecen resistencia a la extracción, polvorientos y de granulación fina.

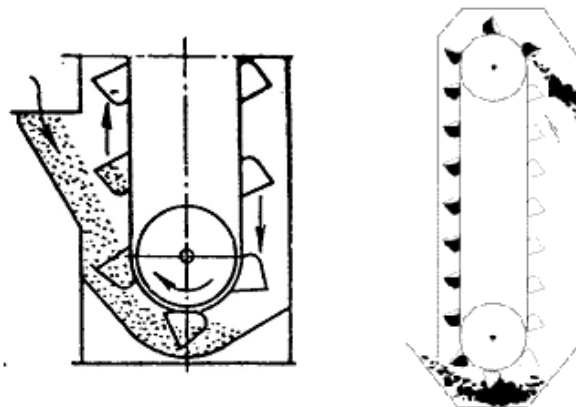


Figura 21. Carga mixta o por dragado

2.4.3. El tipo de descarga de los cangilones:

- Descarga por lanzamiento o centrífuga (Figura 22 y 27).

Es el tipo más utilizado. El órgano de tracción (banda o cadena) se desplaza a grandes velocidades provocando que el material sea lanzado en el punto superior del elevador por la acción de la fuerza centrífuga. En este tipo de elevadores de cangilones, la carga se efectúa generalmente por dragado del material depositado en la parte inferior del transportador.

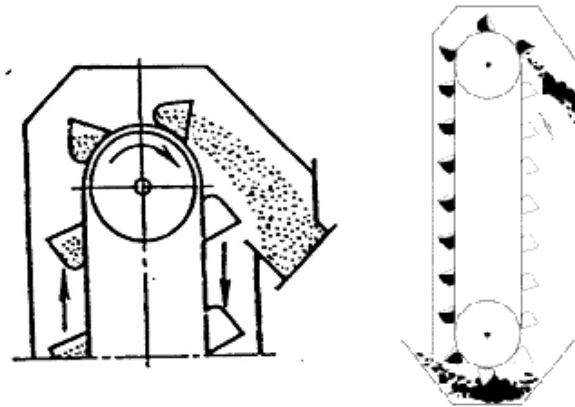


Figura 22. Descarga por lanzamiento o centrífuga



Figura 23. Elevador de cangilones descargando por lanzamiento

La velocidad del órgano de tracción es alta, entre 1.2 y 1.4 m/s. La velocidad de diseño del elevador tiene que estar por encima de la velocidad crítica de operación, que se define como la velocidad a la que la capacidad actual del elevador cae por debajo de su capacidad teórica. Esta situación se produce cuando la fuerza centrífuga en el centro de masas del material en el cangilón es igual a la fuerza gravitacional del material, esto hace necesario que la distancia de separación entre cangilones sea de 2 a 3 veces la altura del cangilón.

- Descarga por gravedad o continúa.

El órgano de tracción se desplaza a bajas velocidades comprendidas entre 0.5 y 1.0 m/s. En este caso, se aprovecha el propio peso del material para la descarga del mismo. La descarga por gravedad puede ser, a su vez, libre o dirigida.

En la descarga libre por gravedad es necesario desviar el ramal libre del elevador mediante estrangulamiento o inclinar el propio elevador para garantizar que la tolva de descarga se encuentre bajo la carga (Figura 24).

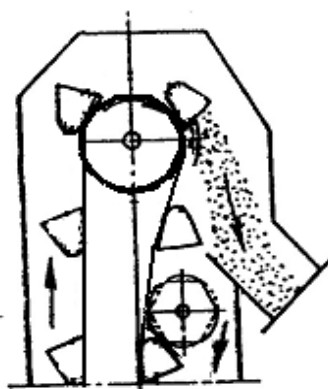


Figura 24. Descarga libre por gravedad

En la descarga dirigida por gravedad, los cangilones se sitúan de forma continua, sin separación entre ellos (Figura 25). A este tipo de cangilones se les denomina de escama. En este caso, la descarga del material se efectúa por efecto de la gravedad utilizando la parte inferior del cangilón precedente como tolva de descarga. La carga se realiza directamente desde la tolva. La separación entre cangilones corresponde, en este caso, a la altura del cangilón [7].

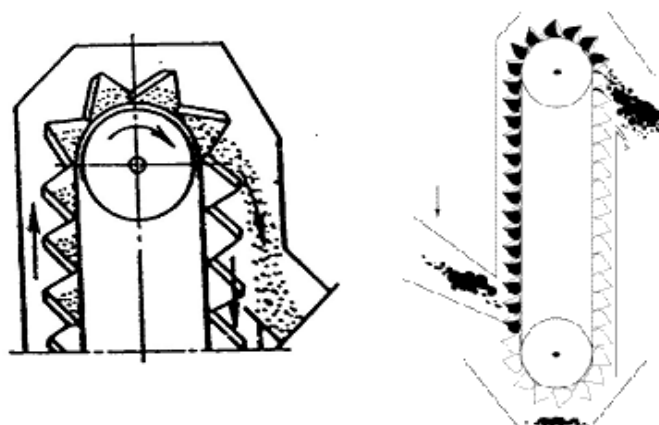


Figura 25. Descarga dirigida por gravedad

La Tabla 1 muestra la elección del tipo de elevador adecuado, dependiendo del material a transportar.

Tabla 1. Selección del elevador según el material

Nº	Material	Densidad por unidad de volumen kg/m^3	Banda/Cadena	Tipo de elevador
1.	Cenizas / carbón	700-800	Banda / Cadena	DC,DG
2.	Bauxita, triturada y seca	1200-1350	Banda / Cadena	DC,DG
3.	Cemento Pórtland	1000	Banda / Cadena	DC
4.	Cemento Clinker	1200-1400	Cadena	DC,DG
5.	Carbón fósil	860	Banda / Cadena	DC,DG
6.	Arcilla seca	1600-1920	Banda / Cadena	DC,DG
7.	Coque suelto	370-510	Banda / Cadena	DC
8.	Coque petróleo	560-720	Cadena	DC
9.	Dolomita	1400-1600	Banda / Cadena	DC,DG
10.	Arena de fundición	1400-1600	Cadena	DC
11.	Feldespatos molidos	1000-1200	Banda / Cadena	DC,DG
12.	Yeso calcinado	880-960	Cadena	DC,DG
13.	Yeso en polvo	960-1280	Banda / Cadena	DC,DG
14.	Cal molido	960	Cadena	DC,DG
15.	Piedra caliza	1360-1440	Banda / Cadena	DC,DG
16.	Mármol triturado	1400-1520	Cadena	DG
17.	Arena fosfática	1440-1600	Banda / Cadena	DC,DG
18.	Cuarzo pulverizado	1760	Cadena	DC,DG
19.	Harina cruda	800-1000	Banda / Cadena	DC,DG
20.	Arroz molido	670-720	Banda / Cadena	DC

21.	Arena seca	1440-1600	Banda / Cadena	DC
22.	Ceniza de sosa pesada	800-1000	Cadena	DC,DG
23.	Azufre en polvo	800-950	Banda / Cadena	DC,DG
24.	Azúcar crudo	800-1040	Banda / Cadena	DC
25.	Azúcar refinado	800-880	Banda / Cadena	DC
26.	Urea	650	Banda / Cadena	DC,DG
27.	Trigo partido	640-720	Banda / Cadena	DC
28.	Óxido de zinc	160-580	Cadena	DC,DG

DC: Elevador de descarga centrífuga

DG: Elevador de descarga por gravedad

2.5. Cálculos para un elevador de cangilones

Los cálculos necesarios para el diseño de un elevador de cangilones no precisan de gran complejidad; para empezar el proceso de diseño tan solo son necesarios tres datos:

- Material a transportar (áridos, alimenticios, industriales, etc.)
- Capacidad a transportar (m³/h).
- Altura a la que es necesario elevar la carga (m).

2.5.1. Flujo del material transportado

El peso del material transportado por un cangilón es:

$$G = i \cdot \rho \cdot \varphi \quad (\text{kg})$$

Donde: i , es el volumen del cangilón (litros);

ρ , es la densidad de la carga a granel (kg/l)

φ , es el coeficiente de relleno del cangilón

El coeficiente de relleno depende del tipo de material y varía entre 0,6 y 0,9, los coeficientes menores corresponden a los fragmentos de material más grandes y viceversa.

El flujo de material o capacidad de transporte de un elevador de cangilones (t/h), a una velocidad v (en m/s) y a un paso de colocación de los cangilones en el órgano de tracción, t (en m), se determina según la siguiente ecuación:

$$Q = 3,6 \frac{G}{t} v \text{ (t/h)}$$

Habitualmente, el paso de los cangilones $t \in [2h, 3h]$ (para los cangilones de escama $t = h$), donde h es la altura del cangilón (véase la Figura 6). Para los elevadores de cadena el paso t debe ser múltiple del paso de cadena.

Las estaciones accionadoras de los elevadores suelen disponerse en su parte superior (cabeza), donde la tensión del órgano de tracción es máxima y se asegura la mayor fuerza de adhesión de la cinta con el tambor accionador. Las estaciones tensoras se suelen disponer en la parte inferior de los elevadores (bota), gracias a lo cual puede utilizarse el peso del órgano de tracción y del tambor inferior para verificar la tensión prefijada.

Para proteger el elevador de cualquier tipo de movimiento inverso espontáneo bajo la acción del peso de su parte cargada, al desconectar el motor, el accionamiento se equipa de un dispositivo de detención que permite el movimiento sólo en una dirección. Con frecuencia, para este fin se utilizan dispositivos de parada de rodillos o de trinquete. Los elevadores pesados se dotan de frenos de retén electromagnéticos.

Para no deteriorar la parte móvil del elevador y la envoltura, al romperse el órgano de tracción, en los elevadores de cadena se emplean atrapadores especiales de la cadena, y en los elevadores de cinta, los cangilones se unen por las paredes laterales con cables de acero que van sin tensión a lo largo de la cinta y que sostienen los cangilones para que no se caigan al romperse la cinta. Simultáneamente con esto, en los tambores tensores (piñones de cadena) se instala un relé de velocidad que desconecta el motor eléctrico al romperse el órgano de tracción.

2.5.2. Potencia de accionamiento

Para que el tambor de accionamiento pueda mover la banda es necesario que genere una fuerza (en kg) de valor [3]:

$$F_a = \frac{G}{3,6 \cdot v} \cdot (H + H_o)$$

Donde H es la altura de elevación (en m) y H_o es la altura ficticia añadida (en m) que actúa como corrector por el tipo de elevador y el material a elevar (Tabla 2).

Tabla 2. Valor de H_o

Sistema de carga	Tamaño del material	Valor de H _o (en m)
Desde tolva		3,8
Por dragado	Pequeño	7,6
	Mediano	11,4
	Grande	15,3

La potencia de accionamiento (en CV) necesaria en el tambor de accionamiento viene determinada por la siguiente expresión [6]:

$$N_a = \frac{F_a \cdot v}{75 \cdot \eta}$$

Donde η es el rendimiento del motor eléctrico.

2.5.3. Tensión máxima de la banda

La tensión máxima de la banda (en kg) viene determinada por la siguiente fórmula:

$$T_m = F_a \cdot k$$

Donde k es un coeficiente que depende del tipo de tambor (Tabla 3).

Tabla 3. Valores del coeficiente k

Condiciones del tambor	Valor de k
Liso húmedo	3,2
Liso seco	1,64
Recubierto húmedo	1,73
Recubierto seco	1,49

Para que no se produzca deslizamiento de la banda sobre el tambor accionador, debe cumplirse la relación de Euler, o sea:

$$\frac{T_1}{T_2} > e^{\mu\theta}$$

Si se tienen en cuenta los pesos de cada ramal, debe preverse una tensión adicional en el tambor tensor del elevador, hasta lograr que se cumpla la relación de Euler. En los elevadores, el arco de contacto es $\theta = 180^\circ$ y el coeficiente de fricción μ , depende de la relación T_1/T_2 , y de que los tambores estén desnudos o forrados en goma o etc. (Tabla 4).

Tabla 4. Valores del coeficiente de fricción

Condiciones del tambor	Coeficiente de fricción (μ)	Relación T_1/T_2
Banda sobre tambor de hierro	0,25	2,194
Banda sobre tambor forrado	0,35	3
Banda sobre tambor de hierro (en condiciones polvorientas)	0,2	1,857
Banda sobre tambor forrado (en condiciones polvorientas)	0,27	2,33
Banda sobre tambor de hierro (en condiciones húmedas)	0,21	1,9
Banda sobre tambor forrado (en condiciones húmedas)	0,21	1,9

Existe el riesgo de que, por una excesiva alimentación, aumente la capacidad a elevar y, por tanto, la tensión en el ramal de elevación. Entonces, la relación T_1/T_2 aumentará, y la banda deslizará con el peligro de que la fricción desgaste la banda.

Por el contrario, cuando su capacidad sea menor de la calculada, la relación de tensiones será menor y estaremos consumiendo más potencia de la necesaria. Los alargamientos también serán muy distintos dependiendo de que el elevador esté vacío o

cargado, por ello la necesidad de colocar tensores de contrapeso capaces de absorber la diferencia de alargamientos [6].

2.6. Elementos auxiliares de control

Como en todos los ámbitos de la industria, la intención es que los procesos sean lo más automáticos posibles, con el menor coste y el menor número de paradas por mantenimiento, averías, etc. [6].

Por ello, cada vez salen al mercado más sistemas de control; en el caso de los elevadores de cangilones, cabe resaltar la importancia de tres sistemas:

- *Variador de frecuencia de control vectorial*: la relación tensión-frecuencia de los motores puede ser diferente de la relación tensión-frecuencia de red, adaptándose a los requerimientos de la aplicación. Es por ello que podemos adecuar la respuesta del motor a las necesidades dadas en el elevador. Esto hace innecesario el uso de arrancadores, y aumenta la vida útil de la máquina así como los intervalos de mantenimiento (Figura 26).



Figura 26. Variador de frecuencia de control vectorial.

- *Indicador rotativo de nivel*: este dispositivo detecta niveles altos y bajos de sólidos granulares en compartimentos, tanques y silos, produciendo, si es necesario, una parada de emergencia en el sistema (Figura 27).



Figura 27. Indicador rotativo de nivel.

- *Equipo de monitoreo de la velocidad y la alineación de la banda:* ofrece protección contra el deslizamiento y desalineación de la banda, proporcionando un funcionamiento eficiente y seguro (Figura 28).



Figura 28. Equipo de monitoreo de la velocidad y la alineación de la banda.

CAPÍTULO III

3. PROGRAMACIÓN DEL ENTORNO DE VENTANAS CON EXCEL Y VISUAL BASIC

3.1. Introducción

En muy diversos ámbitos ingenieriles aparece la necesidad de emplear hojas de cálculo, para encadenar operaciones matemáticas de una manera fácil y sencilla, y así poder ahorrar tiempo y disminuir costes, pudiendo minimizar errores y realizar muchas más combinaciones de las ideas en un proyecto, en un tiempo mucho menor.

Por tanto, una hoja de cálculo (Figura 29) es una herramienta informática que permite manipular datos numéricos y alfanuméricos dispuestos en forma de tablas, donde es posible realizar cálculos complejos con fórmulas y funciones, y también dibujar distintos tipos de gráficas.

Debido a la versatilidad de las hojas de cálculo modernas, se utilizan a veces para hacer pequeñas bases de datos, informes, gráficos estadísticos, formularios, entre otros

usos. Las operaciones más frecuentes se basan en cálculos entre celdas, las cuales son referenciadas respectivamente mediante la letra de la columna y el número de la fila.

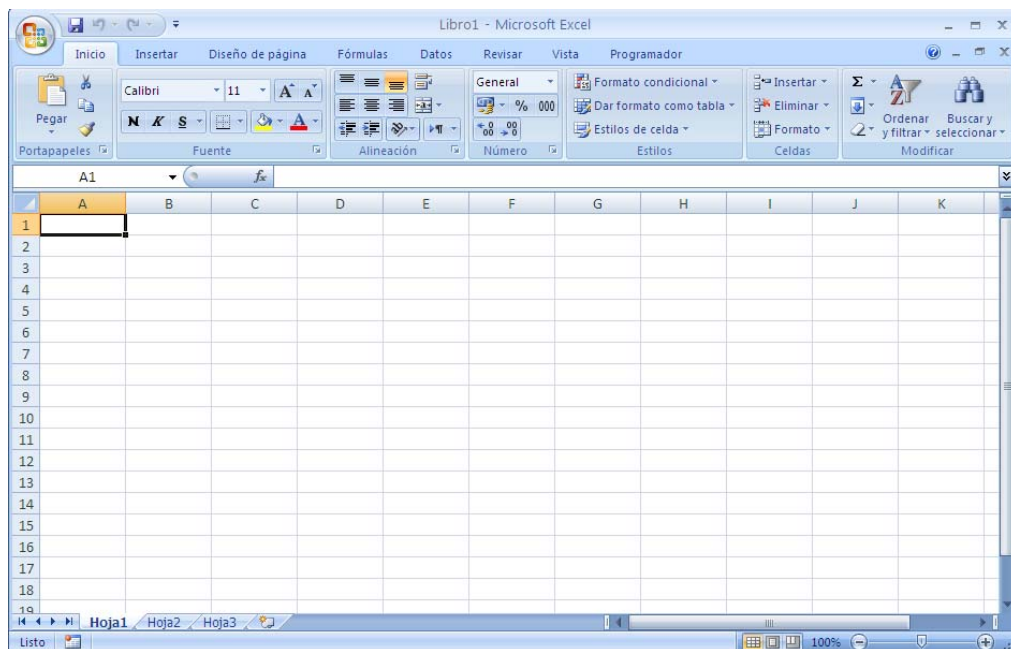


Figura 29. Ejemplo de Hoja de cálculo

En 1961 se vislumbró el concepto de una hoja de cálculo electrónica en el artículo *Budgeting Models and System Simulation* de Richard Mattessich.

Pero finalmente, el inventor, aceptado por la gran mayoría, de las hojas de cálculo es Dan Bricklin. Bricklin contó la historia de un profesor de universidad que hizo una tabla de cálculos en una pizarra. Cuando el profesor encontró un error, tuvo que borrar y reescribir una gran cantidad de pasos de forma muy tediosa, impulsando a Bricklin a pensar que podría replicar el proceso en un computador, usando el paradigma tablero/hoja de cálculo para ver los resultados de las fórmulas que intervenían en el proceso.

Su idea se convirtió en VisiCalc, la primera hoja de cálculo. Esta aplicación, hizo que el ordenador se convirtiera en una herramienta en los negocios, las empresas, la enseñanza, etc. [8].

3.2. Características principales de Microsoft Excel

Para la realización de este proyecto se ha utilizado la herramienta de hojas de cálculo Microsoft Excel, integrada en Microsoft Office 2007, (Figura 30).



Figura 30. Microsoft Excel

Excel ofrece una interfaz de usuario ajustada a las principales características de las hojas de cálculo, en esencia manteniendo ciertas premisas que pueden encontrarse en la hoja de cálculo original, VisiCalc. Originalmente Excel fue escrito para la Apple Macintosh en 1984, pero finalmente se reconvirtió a Microsoft.

Excel fue la primera hoja de cálculo que permitió al usuario definir la apariencia (las fuentes, atributos de carácter y celdas). También introdujo recomputación inteligente de celdas, donde celdas dependientes de otras que han sido modificadas, se actualizan al instante. Excel tiene una amplia capacidad gráfica, y permite a los usuarios realizar la combinación de correspondencia [9].

Desde 1993, Excel ha incluido Visual Basic para Aplicaciones (VBA), un lenguaje de programación basado en Visual Basic, que añade la capacidad para automatizar tareas en Excel y para proporcionar funciones definidas por el usuario para su uso en las hojas de trabajo. VBA es una poderosa anexión a la aplicación. La grabación de macros puede producir código (VBA) para repetir las acciones del usuario, lo que permite la automatización de simples tareas. (VBA) permite la creación de formularios y controles en la hoja de trabajo para comunicarse con el usuario [10].

3.3. Ventajas e inconvenientes de Microsoft Excel

Las principales ventajas y algunas de las características destacables de este programa se detallan a continuación:

- Es un programa de fácil manejo y muy potente.
- Los cálculos en este programa son muy precisos.
- Una de las posibilidades de Excel es la de presentar los datos de forma estética: pueden usarse varios tipos de bordes, de letra, de fondo...
- Puede utilizar hojas para almacenar datos numéricos.
- Excel puede insertar y/o eliminar celdas, filas y columnas.
- Se pueden crear una gran infinidad de gráficos.
- Es posible utilizar las órdenes y herramientas de Microsoft Excel para ejecutar cálculos con sus datos.
- Se pueden ordenar, reorganizar, analizar y presentar los datos fácilmente utilizando las prestaciones de Microsoft Excel, como son la copia, el desplazamiento, la ordenación, la consolidación, la representación gráfica y las tablas dinámicas.
- Puede crear fórmulas para realizar cálculos tan simples como sumar los valores de dos celdas, o tan complejos como encontrar la desviación de un valor concreto con respecto a un conjunto de valores.
- Utilización de las casillas del Excel para realizar evaluaciones de una misma función con diferentes valores.
- Excel incorpora el potente instrumento " Solver". Este instrumento hace lo que los técnicos llaman "optimización" [11].

Pero, como es de suponer, no es perfecto y también tiene inconvenientes, a algunos de los cuales ha sido necesario enfrentarse a lo largo de este proyecto:

- No es un *software* libre, es decir, hay que pagar para poder utilizarlo.

- Mala gestión de los recursos del ordenador.
- Gran volumen de los archivos, incluso cuando se trata de un archivo con pocas y sencillas operaciones.

3.4. Programación del software de dimensionamiento.

Un diseño es una solución particular que resuelve un problema. La misión del ingeniero consiste en que esta solución sea económica, y que efectivamente funcione. En ocasiones primará uno de los aspectos sobre el otro, mientras que en otros casos primará la rapidez, la durabilidad o incluso simplemente los recursos de los que se dispone. En este caso en particular, la solución al problema será tener un formulario de fácil uso con el que configurar y dimensionar un elevador de cangilones en un tiempo mínimo.

Cualquier *software* se puede programar de muchas y distintas maneras, dependerá del programador. Siempre será mejor que el desarrollo del programa sea lo más concreto posible, reduciendo al máximo las operaciones. Cuantas menos operaciones se requieran mejor será la compresión del programa.

3.4.1. Requisitos y ejecución del programa

A continuación se detallan los requisitos mínimos necesarios para la ejecución del programa:

- Sistema Operativo Windows (cualquier versión)
- Microsoft Excel 2007 (en la versión del 2003 no se asegura que funcione correctamente)
- ANSYS 9.0

Una vez comprobado que se dispone de estos requisitos, bastara con realizar un doble clic sobre el icono ejecutable que se muestra en la Figura 31.



Figura 31. Icono ejecutable del programa

Al realizar dicho clic, se ejecutara el programa y se podrá visualizar la ventana que se muestra en la Figura 32.



Figura 32. Ventana inicio del programa

Esta ventana da la bienvenida al programa, y permite iniciar el proceso, pulsando sobre el botón "Inicio", o salir del programa pulsando el botón "Salir". Al pulsar el botón "Salir", el programa se cerrará y se terminará el proceso.

Pulsando el botón "Inicio", comienza el proceso de cálculo/dimensionamiento del elevador, y lo primero que se muestra son las instrucciones de uso del programa, que se pueden ver en la Figura 33

Instrucciones de uso


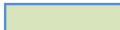

- Seguir las ventanas pinchando en los botones de atrás o adelante --> 
- Rellenar las celdas con el siguiente formato --> 
- Las celdas con recuadro rojo, son datos resultado --> 

Figura 33. Instrucciones de uso del programa

Como se puede ver, el programa es de fácil manejo, ya que únicamente hay que tener en cuenta tres cosas, la primera indica que las ventanas se vayan rellenando por orden, es decir, primero la ventana 1, luego la ventana 2 y así sucesivamente hasta la ventana 13, para ello el usuario deberá de ir pinchando en los botones de adelante para ir progresando en el programa o de atrás si desea retroceder para modificar algún dato.

La siguiente instrucción indica el formato que tienen las celdas que tienen que ser rellenadas por el usuario, es decir, el usuario solo tiene que introducir datos en las celdas en verde, los datos pueden ser introducidos de dos formas: introduciéndolos directamente desde el teclado o seleccionando una opción en un menú desplegable.

Por último y a modo informativo, se indica que la información que aparezca recuadrada en rojo, son resultados para el dimensionamiento del elevador, ya calculados por el programa, y que en un momento dado pueden ser requeridos por el usuario, como pueden ser el paso del cangilón, la anchura de la banda, etc. [12].

3.4.2. Paso 1. DATOS DE ENTRADA

Una vez se han leído y comprendido las instrucciones se puede empezar con el uso del programa, como ya se ha comentado a la hora de dimensionar un elevador de cangilones es necesario conocer una serie parámetros iniciales como son el tipo de material, la capacidad y la altura, y por tanto serán los primeros valores que el usuario deberá introducir en el programa en la siguiente ventana (Figura 34).



1. Datos de entrada		
Material:	<input type="text"/>	
Capacidad (Q):	<input type="text"/>	
Altura (H):	<input type="text"/>	
		

Figura 34. Ventana Paso 1. Datos de entrada

3.4.2.1. Material

En la primera celda en verde deberá introducir el material que desea transportar, el material lo elegirá de un desplegable que se activara cuando se seleccione la celda.

La naturaleza de este material (granulometría, abrasividad, grado de humedad) marcaran la directriz de las características de la instalación como puede ser el tipo de cangilón, el tipo de descarga, el tipo de alimentación del elevador, velocidad, etc., toda esta información se muestra en la Tabla 5 [13].

Tabla 5. Características del material

Características del material	Material	Tipo de elevador	Coeficiente de llenado	Velocidad (m/s)
Pulverulento	Polvo de carbón	Baja velocidad. Descarga por gravedad	0,85	0,6-0,8
	Cemento, yeso, fosfatos, fertilizantes, etc	Alta velocidad. Descarga centrifuga	0,75	1,25-1,8
Granular y con pequeños trozos (inferiores a 60 mm), medianamente abrasivos	Serrín, arcilla seca en trozos, carbón	Alta velocidad. Descarga centrifuga	0,75-0,85	1,25-2
Muy abrasivos	Grava, mineral	Baja velocidad. Descarga directa por gravedad	0,75-0,85	0,8-1
	Arena. Ceniza, tierra	Alta velocidad. Descarga centrifuga	0,7-0,8	1,6-1,8
Polvorientos, en granos, húmedo	Tierra, arena húmeda, yeso polvoriento, húmedo	Alta velocidad. Descarga centrifuga	0,4-0,6	1,25-1,8
	Muchos productos químicos	Baja velocidad. Descarga por gravedad	0,4-0,6	0,6-0,8

3.4.2.2. Capacidad (Q)

La segunda celda en verde, se refiere a la capacidad que desea transportar, para ello el usuario deberá introducir por teclado el numero deseado de m³/h que desea que su elevador transporte, la capacidad deberá estar comprendida entre 7 y 167 m³/h, si se introduce otro valor el programa mostrara el mensaje de error de la Figura 35.

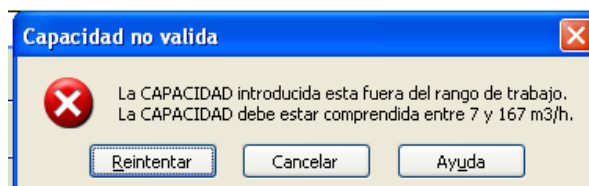


Figura 35. Mensaje de error de capacidad

3.4.2.3. Altura (H)

Por último como dato de entrada es necesario conocer la altura a la que desea transportar el material, por ello en la tercera celda en verde se deberá introducir por teclado el número de metros a la que desea realizar el transporte. Dicha altura deberá estar comprendida entre 10 y 50 m, de lo contrario el programa mostrara el mensaje de error de la Figura 36.

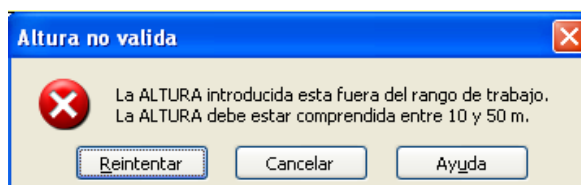


Figura 36. Mensaje de error de altura

3.4.3. Paso 2. RESTRICCIONES DEL MATERIAL

Esta segunda ventana es solo informativa y el usuario solo deberá leerla para su información (Figura 37).

2. Restricciones Material		
Tipo de material:		
Densidad:		kg/m ³
Tipo de descarga:		
Organo tractor:		

Figura 37. Ventana Paso 2. Restricciones Material

En este paso el usuario podrá ver si el material que desea transportar es industrial o alimentario, informacion muy importante como se vera más adelante a la hora de seleccionar el tipo de banda.

La densidad del material que desea transportar, en kg/m³, informacion vital a la hora de calcular las fuerzas que deberá soportar el elevador.

El tipo de descarga del elevador de cangilones, como ya se ha visto en el capítulo anterior puede ser centrífuga o por gravedad, dependiendo de las características del material, por ejemplo, si el material es pulverulento o si está apelmazado.

Por último, el material también restringe el tipo de órgano tractor, que como ya se ha explicado anteriormente puede ser una banda o una cadena. En este caso, el factor principal a tener en cuenta es la abrasividad del material, ya que la banda tiene más ventajas que la cadena, pero no soporta materiales abrasivos, porque pueden producir cortes en la banda y provocar su rotura, aunque poco a poco la tecnología va avanzando y ya existen prototipos de bandas que aguantan cierta abrasividad del material.

3.4.4. Paso 3. TIPO DE CANGILÓN

En esta ventana empieza el dimensionamiento del elevador, seleccionando el tipo de cangilón (Figura 38), ya que hasta el momento lo único que se ha hecho es definir los datos de entrada y ver las restricciones que imponían dichos datos.

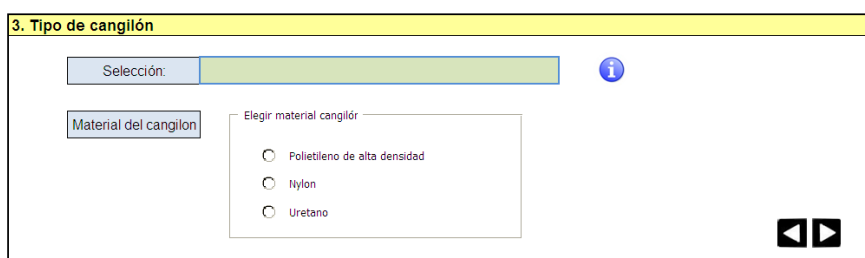


Figura 38. Ventana Paso 3. Tipo de cangilón

En este punto el usuario deberá seleccionar el tipo de cangilón de un menú desplegable, que se activará al situarse en la celda verde.

El programa permite seleccionar entre dos tipos de cangilones de la marca comercial Maxi-Lift Inc., líder mundial en la fabricación de cangilones. Los modelos disponibles son el MAXI TUFF A-A y el TIGER TUFF (Figura 39).

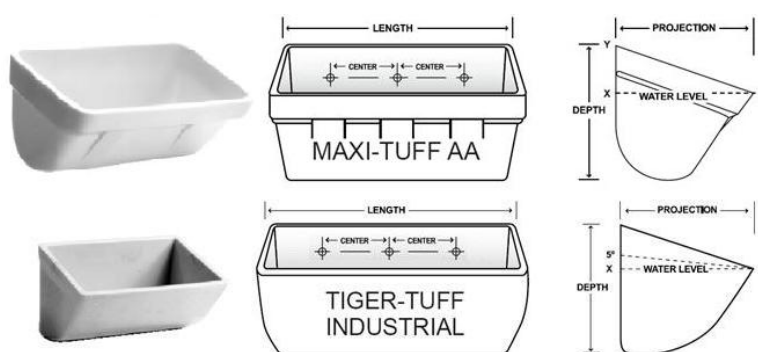


Figura 39. Tipos de cangilones disponibles.

El MAXI TUFF A-A, es el cangilón más común y utilizado en la industria, empleado por ejemplo, para el transporte de piedras, grava, carbón, arena, cereales, etc. Este cangilón es el puro ejemplo de un cangilón profundo, y es utilizado para materiales que no se apelmazan y son fácilmente movedizos.

El TIGER-TUFF, está recomendado para aplicaciones de uso rudo y para altas capacidades (superiores a $67 \text{ m}^3/\text{h}$). Su diseño robusto permite menor tiempo de interrupción por mantenimiento y le dotan de una generosa vida útil. Al igual que el MAXI TUFF A-A, también estaría clasificado como cangilón profundo.

La otra opción que el usuario deberá seleccionar es el material del cangilón. Puede elegir entre polietileno, nylon y uretano. El polietileno suele ser utilizado para productos alimenticios, el nylon en productos calientes, de alto impacto, abrasivo o denso y el uretano para materiales abrasivos pesados o pegajosos [14].

3.4.5. Paso 4. MODELO DE ELEVADOR

Una vez definido el tipo de cangilón, el siguiente paso es seleccionar el modelo de elevador, para ello se ha utilizado como base el catálogo de la empresa americana Sweet, líder del sector en el país.

A lo hora de seleccionar el modelo de elevador, el parámetro crítico es la capacidad, ya que una vez seleccionado el tipo de cangilón, es decir, el volumen de material que carga cada cangilón, el siguiente paso es seleccionar el tipo de elevador,

donde lo que se define es: la velocidad del elevador, el diámetro de los tambores, etc., para así alcanzar la capacidad deseada.

La ventana del paso 4, se muestra en la Figura 40.

Modelo	Cap. MIN	Cap. MAX	(m³/h)
Selección:			

Datos del elevador:	
Modelo:	
Tamaño cangilón:	
Velocidad:	m/s
Velocidad tambor:	rpm
Diámetro tambor:	m
Capacidad mínima:	m³/h
Capacidad máxima:	m³/h

Figura 40. Ventana Paso 4. Modelo de elevador

Una vez en la ventana, el usuario solo tiene que seleccionar el modelo de elevador. Dependiendo de los parámetros, puede darse el caso de que solo un modelo de elevador se ajuste a las necesidades, o por el contrario exista más de una opción, en este caso el usuario deberá seleccionar uno de los modelos, que aparezcan en el desplegable.

En el caso de que exista más de una opción, se aconseja que el factor para decidir sea el tipo de instalación, es decir si se trata de una instalación fija o flexible, ya que si es fija, su capacidad es constante y no evolucionará en el tiempo, mientras que si se trata de una instalación flexible, puede ser que con el tiempo el rango de capacidad varíe, así seleccionando el modelo de mayor rango de capacidad para una instalación flexible, puede minimizarse el efecto de un posterior crecimiento de las necesidades de la instalación.

Esta selección de modelo se realiza eligiéndolo desde un menú desplegable que se activa al situarse sobre la celda verde, (celda para la entrada de datos por el usuario).

Al seleccionar el modelo de elevador, se mostrarán en la ventana los siguientes parámetros del elevador:

- Modelo

- Tamaño de cangilón
- Velocidad (m/s)
- Velocidad del tambor (rpm)
- Diámetro del tambor (m)
- Capacidad mínima (m³/h)
- Capacidad máxima (m³/h)

Como se puede ver, el elevador ya va cogiendo forma, con el modelo de elevador y el tipo de cangilón. A grandes rasgos los siguientes pasos son: definir la banda y el sistema accionador [15].

3.4.6. Paso 5. AJUSTE DEL PASO DEL ELEVADOR (t)

En este paso el usuario no deberá introducir datos, se trata de un paso de información y chequeo (Figura 41).

5. Ajuste del paso del elevador (t)

Formula:

$$t = 3,6 \frac{i \cdot \rho \cdot \varphi}{Q} v$$

Q = t/h

i = l

$\rho = t/m^3$

$\varphi =$

v = m/s

t = m

Donde:

t = paso (m), $t \in [2h, 3h]$ siendo h la altura del cangilón.

i = Volumen del cangilón (l)

ρ = Densidad de la carga (kg/m³)

φ = Coef. relleno del cangilón, entre 0,6 y 0,9.

v = Velocidad del elevador (m/s)

Q = Capacidad de transporte (t/h)

Comprobación:

h = m

2h = m

t = m

3h = m

Correa

Cangilón

PASO

Figura 41. Ventana Paso 5. Ajuste del paso del elevador (t).

De información porque informa al usuario sobre el paso del elevador, es decir, la distancia entre un cangilón y el siguiente, y por otro lado de chequeo, porque comprueba que el paso esté dentro de los valores que marca la normativa, que dice que el paso del elevador para cangilones profundos, debe ser entre dos y tres veces la altura del cangilón.

Para poder calcular el paso de un elevador, es necesario relacionar el peso que carga cada cangilón, con la capacidad de transporte deseada y con la velocidad del elevador, todos ellos parámetros ya definidos.

En el caso de que el paso cumpla la normativa, el programa lo indicará con un “OK” en verde, como puede verse en la Figura 42.

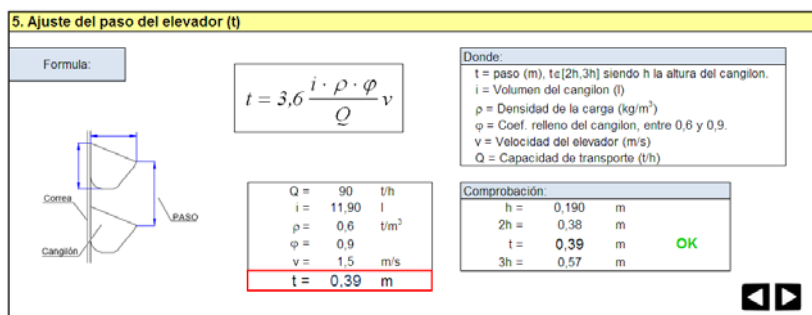


Figura 42. Ventana paso 5, con paso dentro de normativa.

En el caso de que los parámetros seleccionados den un paso fuera de la normativa, el programa lo indicará con un mensaje de “NO VALIDO”, “Modificar el tipo de cangilón o el modelo de elevador” en rojo. En este caso, como indica el programa, se deberá volver al paso 4 o paso 3, para modificar el modelo de elevador o el tipo de cangilón respectivamente (Figura 43).

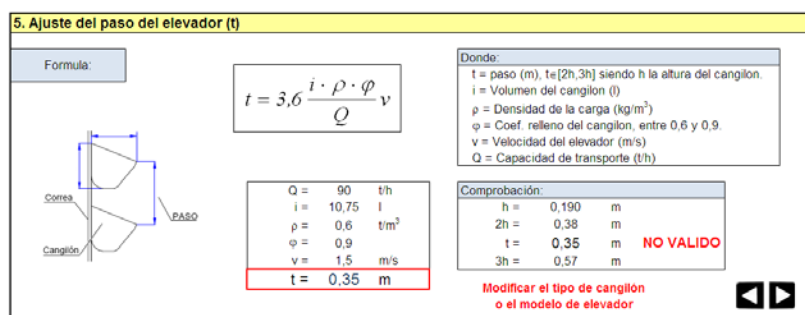


Figura 43. Ventana paso 5, con paso fuera de normativa.

3.4.7. Paso 6. CÁLCULO ANCHO DE LA CORREA (A_{CORREA})

Una vez definido como se distribuirán los cangilones a lo largo de la correa, es decir, el paso, la siguiente etapa es definir el ancho de la correa. Este es un paso automático que realiza el programa, y se basa por un lado en un coeficiente de seguridad y por otro en que las medidas de las correas están normalizadas y por tanto el ancho de

la correa deberá ser un valor normalizado. Para calcularlo, se toma como referencia la longitud del cangilón y se le suma un valor entre 20 y 50 mm (Figura 44).

6. Cálculo del ancho de la correa (A_{CORREA})

Formula:

$$A_{CORREA} = L_c + K$$

Donde:

A_{correa} = Ancho de la correa (mm)
 L_c = Longitud del cangilón (mm)
 K = Variable $\in [20, 50]$ (mm)

Correa
Elevador
Cangilón

$K =$ mm
 $L_c =$ mm
 $A_{correa} =$ mm

Figura 44. Ventana Paso 6. Cálculo del ancho de la correa (A_{CORREA}).

3.4.8. Paso 7. CÁLCULO LONGITUD DE LA CORREA (L_{CORREA})

El siguiente parámetro a calcular es la longitud de la correa. Al igual que en el paso anterior, la longitud de la correa es un parámetro que el programa también calcula automáticamente, para ello solo necesita conocer el diámetro de los tambores, y la altura del elevador. Con estos dos parámetros y como se ve en la Figura 45 se define la longitud de la correa.

7. Cálculo de la longitud de la correa (L_{CORREA})

Formula:

$$L_{CORREA} = 2 \cdot H + \pi \cdot D_T + I$$

Donde:

L_{correa} = Longitud de la correa (m)
 H = Altura del elevador (m)
 D_T = Diámetro del tambor (m)

$H =$ m
 $D_T =$ m
 $L_{correa} =$ m

Figura 45. Ventana Paso 7. Cálculo de la longitud de la correa (L_{CORREA}).

3.4.9. Paso 8. CÁLCULO DE LA FUERZA SOBRE LA CORREA

En este paso el programa procede a calcular automáticamente la fuerza a la que está sometida la banda. Para ello el programa necesita conocer la capacidad, la velocidad y la altura, todos ellos parámetros ya definidos, y un factor de corrección (H_0) dependiente del tipo de carga. Así pues, con la fórmula de la Figura 46, se calcula la fuerza en

kilogramos, valor vital, para posteriormente calcular la tensión que deberá soportar la banda.

8. Cálculo de la fuerza sobre la correa (F)

Formula:

$$F = 1,2 \cdot \frac{Q}{3,6 \cdot v} (H + H_0)$$

Donde:

F = Fuerza (kg)
 Q = Capacidad de transporte (t/h)
 H = Altura del elevador (m)
 H₀ = Factor de corrección, por tipo de carga (m)
 v = Velocidad del elevador (m/s)

Q = t/h
 H = m
 H₀ = m
 v = m/s
F = kg

Figura 46. Ventana Paso 8. Cálculo de la fuerza sobre la correa (F).

3.4.10. Paso 9. CÁLCULO DE LA TENSION EN LA CORREA (T)

Una vez obtenida la fuerza que actúa sobre la correa, el siguiente paso es repartirlo linealmente por la anchura de la correa, para obtener así, la tensión que deberá de soportar. Este cálculo también lo realiza automáticamente el programa y consiste básicamente en dividir la fuerza (F en N) entre la anchura de la correa (A_{CORREA} en mm) (Figura 47).

9. Cálculo de la tensión en la correa (T)

Formula:

$$T = \frac{F \cdot g}{A_{CORREA}}$$

Donde:

T = Tensión (N/mm)
 F = Fuerza (kg)
 g = gravedad (9,81m/s²)
 A_{correa} = Ancho de la correa (mm)

F = kg
 A_{CORREA} = mm
T = N/mm

Figura 47. Ventana Paso 9. Cálculo de la tensión en la correa (T).

3.4.11. Paso 10. MODELO DE CORREA

Como todo sólido, la correa es definida por tres dimensiones, y hasta el momento el programa sólo ha calculado dos: la anchura y la longitud. La tercera que falta para definir inequívocamente la correa es su espesor.

En este paso se procederá a seleccionar una correa del catálogo de la marca comercial ESBELT, líder nacional en la fabricación de bandas transportadoras, en función de la tensión calculada en el paso 9.

Dependiendo del tipo de material a cargar, es decir, si se trata de un material industrial o un material alimentario, ESBELT recomienda distintas correas. En ambos casos se han seleccionado las más recomendadas para elevadores de cangilones.

Para el caso de materiales industriales se ha seleccionado la Serie Drago, por su resistencia al corte, abrasión y aceites minerales. Esta pensada especialmente para cargar arcillas, fertilizantes, materiales a granel, etc.

Para los materiales de alimentación se ha elegido la Serie Espot, por su excelente resistencia a los aceites vegetales y por estar indicada para el transporte de materiales orgánicos como alimentos, semillas, piensos compuestos, residuos, etc. [16].

Una vez definida la serie de la banda (Drago o Espot), selección que hace el programa automáticamente al conocer ya desde el inicio el tipo de material, el usuario deberá seleccionar de una lista desplegable el modelo de la misma, es decir, el modelo que más se ajuste a sus necesidades, dependiendo si desea una instalación optimizada o sobredimensionarla para posibles ampliaciones. El criterio que usa el programa para seleccionar el modelo de banda es que la correa cumpla frente a un fallo por rotura de la misma (Figura 48).

10. Modelo de correa

Tipo de material:

Tipo de correa:

Selección:	Modelo	Carga maxima recomendada (N/mm)	Peso banda (kg/m ²)	Espesor correa (mm)
<p>Datos del elevador:</p> <p>Modelo: <input type="text"/></p> <p>Carga maxima recomendada: <input type="text"/> N/mm</p> <p>Espesor correa: <input type="text"/> mm</p> <p>Peso banda: <input type="text"/> kg/m²</p> <p>Carga rotura: <input type="text"/> N/mm</p>				

Figura 48. Ventana Paso 10. Modelo de correa.

Al seleccionar el modelo de correa, se mostrarán en la ventana los siguientes parámetros de la misma:

- Modelo

- Carga máxima recomendada (N/mm)
- Espesor de la correa (mm)
- Peso de la banda (kg/m²)
- Carga de rotura (N/mm)

3.4.12. Paso 11. CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR (P)

Por último queda calcular el grupo accionador. Para ello sólo es necesario calcular la potencia (CV) requerida para poner en funcionamiento el elevador, esta potencia la calcula el programa automáticamente, relacionando básicamente la fuerza a superar por la velocidad a la que se moverá ($P=F \cdot v$) (Figura 49).

11. Calculo de la potencia del motor (P)

Formula:

$$P = \frac{F \cdot v}{75 \cdot \eta}$$

F =	kg
v =	mm
η =	
P =	CV

Donde:

- P = Potencia necesaria (CV)
- F = Esfuerzo (kg)
- v = Velocidad del elevador (m/s)
- η = Rendimiento del motor

Figura 49. Ventana Paso 11. Cálculo de la potencia del motor (P).

3.4.13. Paso 12. MODELO DE MOTORREDUCTOR

Una vez terminado el paso 11 y calculada la potencia necesaria para poner en funcionamiento el elevador, el usuario deberá de seleccionar de un menú desplegable, el modelo de motorreductor que más se ajuste a sus necesidades; para esta elección, deberá de seleccionar el rango de potencia del motorreductor. Para ello si se trata de una instalación fija se aconseja seleccionar el de menor potencia, pero si por el contrario se trata de una instalación flexible, lo más recomendable es seleccionar el motorreductor que más potencia pueda producir (Figura 50) [6].

Modelo	Pot. MIN (CV)	Pot. MAX (CV)
Selección:		

Datos del elevador:	
Modelo:	
Potencia minima:	CV
Potencia maxima:	CV
Serie del reductor:	
Kit:	
Vel. del motor	rpm
Vel. salida reductor	rpm
Relación de transmisión	

Figura 50. Ventana Paso 12. Modelo de motorreductor.

Al realizar esta selección el programa automáticamente dimensiona el reductor que mejor se ajusta al motor seleccionado, creando el motorreductor que forma la unidad accionadora.

Al seleccionar el modelo de motorreductor, el programa muestra en la ventana la siguiente información:

- Modelo
- Potencia mínima (CV)
- Potencia máxima (CV)
- Serie del reductor
- Kit
- Velocidad del motor (rpm)
- Velocidad salida del reductor (rpm)
- Relación de transmisión.

El motor y el reductor son seleccionados del catálogo de la empresa NORD, empresa catalana, que comercializa este tipo de maquinaria.

3.4.14. Paso 13. ELEMENTOS AUXILIARES DE CONTROL

En este punto del programa el elevador de cangilones está totalmente dimensionado. Por último el programa da la opción al usuario de que incluya elementos auxiliares de control a su elevador, como son: un variador de frecuencia de control vectorial, un indicador rotativo de nivel y un equipo de monitoreo de la velocidad y la alineación de la banda (Figura 51).

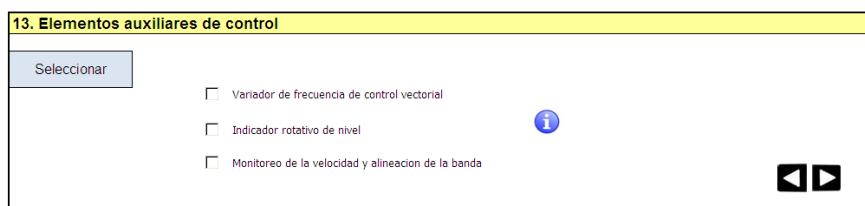


Figura 51. Ventana Paso 13. Elementos auxiliares de control.

3.4.15. GENERACIÓN DE INFORMES FINALES

Una vez finalizados todos los pasos, el programa dispone de cuatro botones, dos para generar archivos, uno para ejecutar el programa ANSYS y un cuarto botón para salir del programa. (Figura 52).

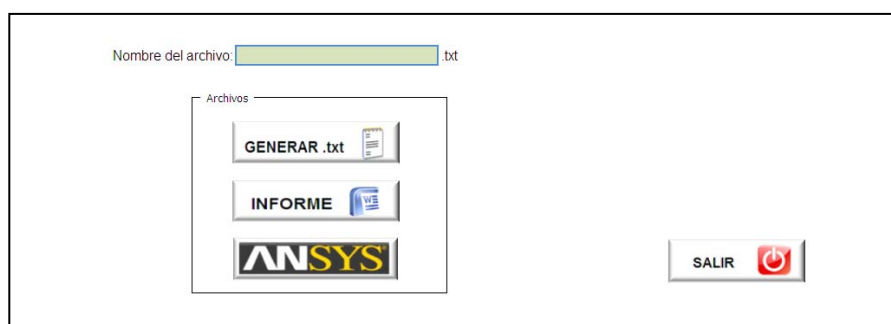


Figura 52. Generación de informes finales

En este punto del proyecto, ya se ha creado un programa que, como se ha podido ver, dimensiona un elevador de cangilones. El siguiente paso, como se indicó en los objetivos del proyecto, es parametrizar todos estos cálculos y resultados, para

posteriormente simular el elevador dimensionado en un programa de elementos finitos (ANSYS). Para ello, al final del programa existe un botón con el nombre “Generar .txt”, que el usuario deberá de pulsar para generar el archivo donde quedará escrita la información, para que seguidamente pueda ser leída por el programa de elementos finitos.

Para generar este archivo el usuario deberá, primeramente, escribir el nombre con el que desea generar el archivo. Como se ha ido realizando a lo largo de todo el programa, el usuario introducirá por teclado el nombre deseado en la celda con el formato correspondiente al ingreso de datos (fondo verde y borde azul). Y posteriormente pulsará sobre el botón “Generar .txt”, el cual le dará la opción de guardar el archivo en la ubicación que el usuario desee. Posteriormente, el usuario podrá dirigirse a la ubicación antes seleccionada donde encontrará el archivo, con la extensión .txt, que contiene toda la información del elevador dimensionado, en un lenguaje legible para ANSYS. La construcción de este archivo .txt se tratará en el siguiente capítulo.

El segundo botón con el nombre “Informe”, abre un informe en Word de cuatro hojas (Figura 53), que hace de resumen de toda la información calculada por el programa, donde el usuario podrá ver toda la información clasificada y ordenada, para posteriormente poder imprimirla o utilizarla como desee.

El tercer botón con el nombre “ANSYS”, ejecuta directamente el programa de elementos finitos ANSYS, para poder cargar automáticamente el archivo .txt generado y poder realizar el análisis del modelo parametrizado.

Y por último, un botón con el rótulo “SALIR”, que permite al usuario salir del programa. Una vez el usuario haya pulsado los tres botones anteriores, puede pulsar el botón “SALIR”, ya que desde ese momento podrá ver toda la información en el informe [17].

domingo, 06 de febrero de 2011



INFORME PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN ELEVADOR DE CANGILONES

El resultado del programa de dimensionamiento y parametrización del elevador de cangilones, según las opciones que usted ha ido seleccionando, se muestra a continuación.

Datos de partida

Material a transportar 0
Densidad kg/m^3
Capacidad de transporte 0 m^3/h (t/h)
Altura de elevación 0 m

Resultados del programa

El elevador de cangilones será fabricado en láminas de acero al carbono en diferentes calibres y estará equipado con cangilones, con las características que se indican más abajo, escalera protectora, andamio y barandillas, transmisión de potencia que consta de juego de poleas, bandas, engranajes, para ser accionado por un motor eléctrico, cuyas características se verán más adelante.

1. Órgano tractor

Al ser un material abrasivo, el órgano tractor es una cadena.

2. Tipo de descarga

El elevador de cangilones tendrá una descarga de tipo centrífuga, es decir, el órgano de tracción se desplaza a altas velocidades provocando que el material sea lanzado en el punto superior del elevador por la acción de la fuerza centrífuga.

3. Cangilones

El tipo de cangilón seleccionado es:

- 0

Informe

Página 1 de 4

domingo, 06 de febrero de 2011



Y con estas dimensiones:

Modelo elevador	Dimensiones (mm)
A	#N/A
B	#N/A
C	#N/A
D	#N/A
E	#N/A
F	#N/A
I	#N/A
J	#N/A
K	#N/A
M	#N/A
O	#N/A



5. Otros parámetros del elevador

- Paso del elevador (I): m
- Ancho de la banda (A_{banda}): mm
- Longitud de la banda (L_{banda}): m
- Esfuerzo de la correa (F): kg
- Tensión en la correa (T): N/mm

6. Banda

Esta selección depende de si el material a transportar es un material alimentario o industrial, la banda debe tener distintas características, en este caso se trata de 0, que es un material , y la elegida es:

- Modelo

Con las siguientes características:

- Carga máxima recomendada: N/mm

Informe

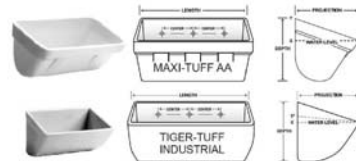
Página 3 de 4

domingo, 06 de febrero de 2011



Con las siguientes características:

TAMAÑO CANGILON (mm)				CAPACIDAD (l)		PESO CANGILON (kg)
Tamaño Cangilón	Ancho	Proyección	Profundidad	Nivel Agua X-X	Capacidad al 100% X-Y	Capacidad X-X
#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A



4. Elevador

El **modelo** del elevador seleccionado es de la marca Sweetmfg, líder mundial en la fabricación de elevador de cangilones y es el:

Con las siguientes características:

- Tamaño cangilón: m
- Velocidad: rpm
- Velocidad tambor: m
- Diámetro tambor: m
- Capacidad mínima: m^3/h
- Capacidad máxima: m^3/h

Informe

Página 2 de 4

domingo, 06 de febrero de 2011



- Espesor correa: mm
- Paso banda: kg/m^2
- Carga rotura: N/mm

7. Unidad de accionamiento

- Potencia necesaria (P): CV

El motorreductor seleccionado tiene las siguientes características:

- Modelo:
- Pot. Mínima (P_{min}): CV
- Pot. Máxima (P_{max}): CV
- Serie del reductor:
- Kit:
- Vel. del motor (V_{motor}): rpm
- Vel. Salida reductor (V_{sal}): rpm
- Relación de transmisión:

8. Elementos auxiliares de control

Usted ha seleccionado los siguientes sistemas de control:

No se ha seleccionado ningún elemento auxiliar de control

Informe

Página 4 de 4

Figura 53. Informe resumen.

CAPÍTULO IV

4. PARAMETRIZACIÓN Y ANÁLISIS CON MÉTODOS ELEMENTOS FINITOS

4.1. Introducción

Los programas de AEF (análisis por elementos finitos ó FEA por sus siglas en inglés: *Finite Element Analysis*), permiten obtener soluciones aproximadas de problemas que sean susceptibles de ser representados por un sistema de ecuaciones diferenciales.

En Ingeniería, la mayoría de los procesos actuales están definidos de dicha forma, por lo que dichos programas nos permitirán obtener productos de calidad superior a un menor coste, o para mejorar procesos existentes, o para estudiar el fallo de un componente estructural o un equipo.

Si se utiliza un programa de AEF se puede ayudar a reducir el tiempo total de desarrollo de un producto, reduciendo el número de ciclos prototipo-pruebas-ensayos-evaluación (Figura 54). Incluso, en algunos casos, no es deseable o práctico el realizar un prototipo: aplicaciones biomecánicas, aeroespaciales, etc.

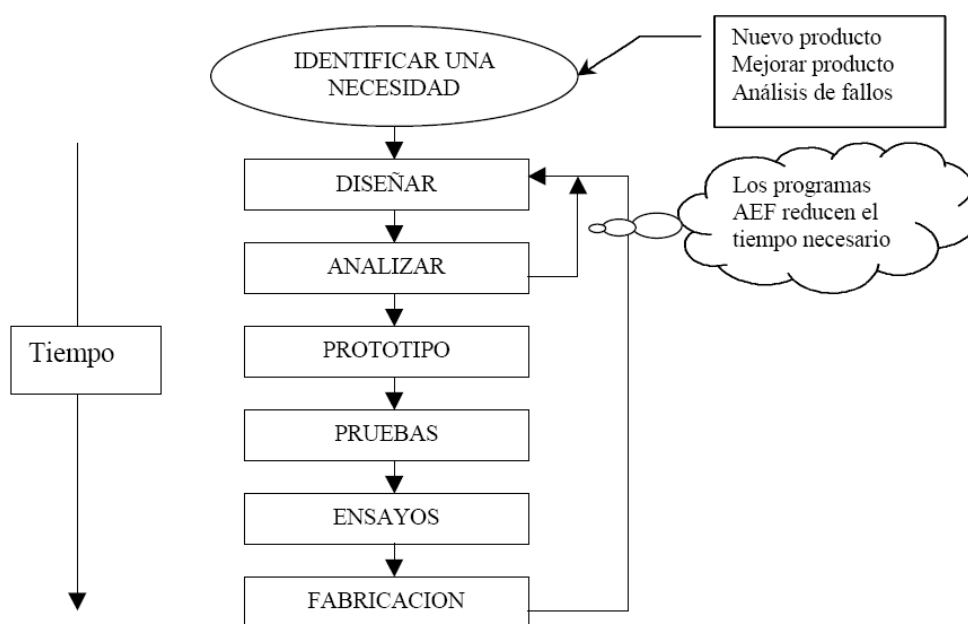


Figura 54. Esquema para utilizar un AEF

En la actualidad existen numerosos programas de análisis por elementos finitos, tales como: ABAQUS, ANSYS, COSMOS, PATRAN, NASTRAN, STRUDL, CAEPIPE, etc.

Como se mostrará, la utilización de este software permite la realización de otros muchos tipos de análisis, no únicamente los arriba indicados, debido a que tanto ANSYS (más conocido) como COSMOS o ABAQUS son de programas de "Uso General".

El concepto de "Uso General" quiere decir que, en primer lugar, el programa incluye muchas capacidades generales, tales como funciones de preprocesador (para generar un modelo), soluciones, postprocesador, gráficos, modelado paramétrico y utilidades para que el programa sea fácil de usar. En resumen, no se trata de un programa especializado para resolver problemas, sino que nos permitirá satisfacer muchas necesidades complejas de diseño y análisis [18].

4.1.1. El análisis por elementos finitos y el MEF

El análisis por elementos finitos (AEF) es un procedimiento de simulación por ordenador usado en ingeniería, que se basa en una técnica numérica llamada método de los elementos finitos (MEF).

El método de los elementos finitos o diferencias finitas (MEF en castellano o FEM en inglés) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de

ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física (Figura 55).

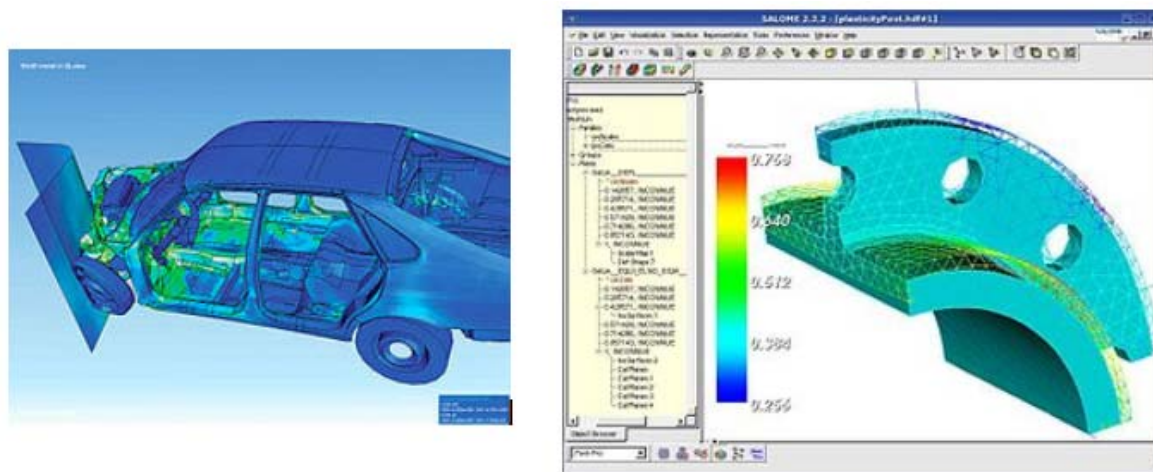


Figura 55. Ejemplos de AEF y MEF

4.1.2. Resumen Histórico

Cuando se produce la llegada de los primeros ordenadores en la década de los 50, el cálculo de estructuras se encontraba en un punto en el que los métodos de cálculo predominantes consistían en técnicas de iteración (métodos de Cross y Kani) que se realizaban de manera manual y por tanto resultaban bastante tediosos. El cálculo de una estructura de edificación de varios pisos, por ejemplo, podía llevar varias semanas, lo cual suponía un coste sustancial de tiempo en detrimento de la posibilidad de invertir este en la optimización de la estructura.

La llegada de la computadora permitió el resurgimiento del método de los desplazamientos ya conocidos en siglos anteriores (Navier, Lagrange, Cauchy), pero que eran difíciles de aplicar dado que al final conducían a la resolución de enormes sistemas de ecuaciones inabordables desde el punto de vista manual.

El Método de Elementos Finitos (MEF) fue desarrollada en 1943 por R. Courant, quien utilizó el método Ritz de análisis numérico y minimización de las variables de cálculo para obtener soluciones aproximadas a un sistema de vibración. Poco después, un documento publicado en 1956 por M. J. Turner, R. W. Clough, H. C. Martin, y L. J. Topp estableció una definición más amplia del análisis numérico. El documento se centró en “la rigidez y deformación de estructuras complejas”. Con la llegada de los primeros

ordenadores se instaura el cálculo matricial de estructuras. Éste parte de la discretización de la estructura en elementos lineales tipo barra de los que se conoce su rigidez frente a los desplazamientos de sus nudos. Se plantea entonces un sistema de ecuaciones resultado de aplicar las ecuaciones de equilibrio a los nudos de la estructura. Este sistema de ecuaciones se esquematiza de la siguiente manera:

$$(P) = [k] \cdot (u)$$

Donde las incógnitas son los desplazamientos en los nudos (vector u) que se hallan a partir de las fuerzas en los nudos (vector P) y de la rigidez de las barras (matriz de rigidez k). Conocidos dichos desplazamientos es posible determinar los esfuerzos en las barras. La solución obtenida es exacta.

Para la resolución de los sistemas de ecuaciones se potencia el estudio de la adaptabilidad de los algoritmos ya conocidos (Gauss, Cholesky, Crout, Gradiente conjugado, etc.). El ahorro de tiempo es impensable y con ello el uso del método matricial se extiende. Este desarrollo se hace especialmente notable en estructuras de edificación donde la discretización de los pórticos en barras, es prácticamente inmediata a partir de las vigas y los pilares.

Sin embargo, y a pesar de desarrollarse modelizaciones de elementos superficiales mediante barras (losas con emparrillados, elementos curvos mediante aproximaciones de elementos rectos, etc.), se plantean grandes dificultades ante estructuras continuas (superficies y volúmenes) y con geometrías complejas. De ahí que sea precisamente dentro del campo aeroespacial donde comiencen a desarrollarse las nuevas técnicas del MEF, la demanda de la NASA repercutió en el desarrollo del software de elementos finitos NASTRAN en 1965. Dada su generalidad el método se amplió a otros campos no estructurales como la conducción de calor, la mecánica de fluidos, etc.

Con la llegada de los centros de cálculo y los primeros programas comerciales en los años 60, el MEF a la vez que se populariza en la industria refuerza sus bases teóricas en los centros universitarios.

En los años 70 se produce un gran crecimiento de la bibliografía así como la extensión del método a otros problemas como los no lineales. En esta década, el MEF estaba limitado a caros ordenadores centrales generalmente poseído por las industrias aeronáuticas, de automoción, de defensa y nucleares. Se estudian nuevos tipos de

elementos y se sientan las bases matemáticas rigurosas del método, que había aparecido antes como técnica de la ingeniería que como método numérico de la matemática.

Por último, a partir de la década de los 80, con la generalización de los ordenadores personales, se extiende el uso de los programas comerciales que se especializan en los diversos campos, instaurándose el uso de pre y postprocesadores gráficos que realizan el mallado y la representación gráfica de los resultados. Se continúa en el estudio de la aplicación del método a nuevos modelos de comportamiento (plasticidad, fractura, daño continuo, etc.) y en el análisis de los errores. En la actualidad dentro del campo estructural el MEF comparte protagonismo con el método matricial, siendo muchos los programas que mezclan el análisis por ambos métodos debido sobre todo a la mayor necesidad de memoria que requiere el análisis por elementos finitos. Así se ha dejado la aplicación del MEF para el análisis de elementos continuos tipo losa o pantalla, mientras que los pórticos siguen todavía discretizándose en barras y utilizando el método matricial. Y desde el rápido declive en el coste de los ordenadores y el fenomenal incremento en la potencia de cálculo, el MEF ha desarrollado una increíble precisión. A día de hoy, los superordenadores son capaces de dar resultados exactos para todo tipo de parámetros [19].

4.1.3. Qué es y en qué consiste el MEF

El método se basa en dividir el cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) — sobre el que están definidas ciertas ecuaciones integrales que caracterizan el comportamiento físico del problema— en una serie de subdominios no intersectantes entre sí denominados «elementos finitos». El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también denominada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados «nodos». Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito; además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se llama «malla».

Los cálculos se realizan sobre una malla o discretización creada a partir del dominio con programas especiales llamados generadores de mallas, en una etapa previa a los cálculos que se denomina pre-proceso. De acuerdo con estas relaciones de adyacencia o conectividad se relaciona el valor de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El conjunto de relaciones entre

el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones lineales (o linealizadas). La matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones de dicho sistema es proporcional al número de nodos.

Típicamente el método de los elementos finitos se programa computacionalmente para calcular el campo de desplazamientos y, posteriormente, a través de relaciones cinemáticas y constitutivas las deformaciones y tensiones respectivamente, cuando se trata de un problema de mecánica de sólidos deformables o más generalmente un problema de mecánica de medios continuos. El método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos (en dos o tres dimensiones). Además el método es fácilmente adaptable a problemas de transmisión de calor, de mecánica de fluidos para calcular campos de velocidades y presiones (mecánica de fluidos computacional, CFD) o de campo electromagnético. Dada la imposibilidad práctica de encontrar la solución analítica de estos problemas, con frecuencia en la práctica ingenieril los métodos numéricos y, en particular, los elementos finitos, se convierten en la única alternativa práctica de cálculo.

Por tanto, el MEF consiste en un modelo informático del material o diseño que es tensado y analizado para conseguir resultados específicos. Es usado en el diseño de nuevos productos, y en la mejora de los actuales. Una empresa capaz de verificar un diseño propuesto será capaz de ajustarse a las especificaciones del cliente antes de la fabricación ó construcción. Modificando un producto o estructura existente, es utilizado para calificarlo para unas nuevas condiciones de servicio.

Hay generalmente dos tipos de análisis que son usados en la industria: modelos en 2D y en 3D. Mientras los modelos en 2D conservan la simplicidad y permiten que el análisis se realice en un ordenador normal, tiende a dar resultados menos precisos. El modelado en 3D, sin embargo, produce resultados más precisos mientras sacrifica la habilidad para funcionar de manera efectiva en cualquier ordenador, menos en los más rápidos. Con cada uno de estos esquemas modelados, el programador puede insertar numerosos algoritmos ó funciones que pueden hacer al sistema comportarse de manera lineal o no lineal. Los sistemas lineales son menos complejos y normalmente no tienen en cuenta deformaciones plásticas. Los sistemas no lineales toman en cuenta las deformaciones plásticas, y algunos incluso son capaces de testear el material hasta la fractura.

4.1.4. Cómo trabaja el Método de los Elementos Finitos

El MEF usa un complejo sistema de puntos llamados nodos que hacen una red llamada malla. Esta malla, está programada para contener el material y las propiedades de la estructura que definen cómo ésta reaccionará ante ciertas condiciones de carga. A los nodos se les asigna una densidad por todo el material dependiendo del nivel de estrés anticipado en un área. Las regiones que recibirán gran cantidad de estrés tienen normalmente una mayor densidad de nodos (densidad de malla) que aquellos que experimentan poco o ninguno. Los puntos de interés consisten en: puntos de fractura previamente testeados del material, entrantes, esquinas, detalles complejos, y áreas de elevado estrés. La malla actúa como la red de una araña en la que desde cada nodo se extiende un elemento de malla a cada nodo adyacente. Este tipo de red vectorial es la que lleva las propiedades del material al objeto, creando varios elementos.

Básicamente los pasos a seguir en el análisis de estructuras mediante el método de los desplazamientos a través del MEF son:

1. El medio continuo se divide, mediante líneas o superficies imaginarias, en un número de elementos finitos. Esta parte del proceso se desarrolla habitualmente mediante algoritmos incorporados a programas informáticos de mallado durante la etapa de preproceso.
2. Se supone que los elementos están conectados entre sí mediante un número discreto de puntos o “nodos”, situados en sus contornos. Los desplazamientos de estos nodos serán las incógnitas fundamentales del problema, tal y como ocurre en el análisis simple de estructuras por el método matricial.
3. Se toma un conjunto de funciones que definan de manera única el campo de desplazamientos dentro de cada “elemento finito” en función de los desplazamientos nodales de dicho elemento. Por ejemplo el campo de desplazamientos dentro de un elemento lineal de dos nodos viene definido por: $u = N_1 \cdot u_1 + N_2 \cdot u_2$, siendo N_1 y N_2 las funciones comentadas (funciones de forma) y u_1 y u_2 los desplazamientos en el nodo 1 y en el nodo 2.
4. Estas funciones de desplazamientos definirán entonces de manera única el estado de deformación del elemento en función de los desplazamientos nodales. Estas deformaciones, junto con las propiedades constitutivas del material, definirán a su

vez el estado de tensiones en todo el elemento, y por consiguiente en sus contornos.

5. Se determina un sistema de fuerzas concentradas en los nodos, tal que equilibre las tensiones en el contorno y cualesquiera cargas repartidas, resultando así una relación entre fuerzas y desplazamientos de la forma $F = k \cdot u$, que como vemos es similar a la del cálculo matricial.
6. La resolución del sistema anterior permite obtener los desplazamientos en los nodos y con ellos definir de manera aproximada el campo de desplazamientos en el elemento finito.
7. En la etapa de postproceso se presentan los resultados, generalmente de forma gráfica para su análisis.

Estos siete pasos, serían vistos desde un punto interno del cálculo (es decir, la base del MEF), por otro lado se puede decir que existen tres fases a la hora de realizar un análisis por elementos finitos, que serían:

1. Pre-procesamiento. Definir el modelo de elementos finitos y los factores ambientales que influyen en él.
2. Solución del análisis. Solucionar el modelo de elementos finitos.
3. Post-procesamiento de resultados usando herramientas de visualización.

1. Pre-procesamiento: El primer paso en FEA, pre-procesamiento, es construir un modelo de elementos finitos de la estructura a ser analizada. En muchos paquetes de FEA se requiere de la entrada de una descripción topológica de las características geométricas de la estructura. Ésta puede ser 1D, 2D, o 3D. El objetivo principal del modelo es replicar de manera realista los parámetros importantes y características del modelo real. La manera más sencilla para conseguir similaridad en el análisis es utilizar planos pre existentes, modelos CAD. Una vez que se ha creado la geometría, se utiliza un procedimiento para definir y dividir el modelo en "pequeños" elementos. En general, un modelo de elementos finitos está definido por una malla, la cual está conformada por elementos y nodos. Los nodos representan puntos en los cuales se calcula el desplazamiento (análisis estructural). Los paquetes de FEA enumeran los nodos como una herramienta de identificación. Los elementos están determinados por conjuntos de nodos, y definen propiedades localizadas de masa y rigidez. Los elementos también están

definidos por la numeración de la malla, la cual permite referenciar la correspondiente deflexión o esfuerzo (en análisis estructural) para una localización específica.

2. Análisis (cómputo de la solución): En la siguiente etapa, en el proceso de análisis de elementos finitos se lleva a cabo una serie de procesos computacionales que involucran fuerzas aplicadas, y las propiedades de los elementos de donde producir un modelo de solución. Tal análisis estructural permite la determinación de efectos como lo son las deformaciones, estiramiento o estrés que son causados por fuerzas estructurales aplicadas como lo son la fuerza, la presión y la gravedad.

3. Post-procesamiento (visualización): Estos resultados entonces pueden ser estudiados utilizando herramientas visuales dentro del ambiente de FEA para ver y para identificar completamente las implicaciones del análisis. Herramientas numéricas y gráficas permiten la localización precisa de información como esfuerzos y deformaciones a ser identificadas [19].

4.1.5. Resultados del MEF

El MEF se ha vuelto una solución para la tarea de predecir los fallos debidos a tensiones desconocidas, enseñando los problemas de la distribución de tensiones en el material, y permitiendo a los diseñadores ver todas las teóricas tensiones involucradas. Este método de diseño y testado del producto, es muy superior a los costes de manufactura que podrían acarrear si actualmente cada ejemplo fuera construido y testado.

Las grandes ventajas del cálculo por ordenador se pueden resumir en:

- Hace posible el cálculo de estructuras que, bien por el gran número de operaciones que su resolución presenta (entramados de muchos pisos, por ejemplo) o por lo tedioso de las mismas (entramados espaciales, por ejemplo), eran, en la práctica, inabordables mediante el cálculo manual.
- En la mayoría de los casos reduce a límites despreciables el riesgo de errores operatorios, teniendo en cuenta la dificultad que presenta para estimar la incertidumbre de los resultados [20].

4.1.6. Tipos de análisis ingenieriles

- Análisis estructural, consiste en modelos lineales y no lineales. Los modelos lineales usan simples parámetros y asumen que el material no es deformado plásticamente. Los modelos no lineales consisten en tensionar el material más allá de sus capacidades elásticas. La tensión en el material varía con la cantidad de deformación.

- Análisis vibracional, es usado para testear el material contra vibraciones aleatorias, choques e impactos. Cada uno de estos incidentes puede actuar en la frecuencia natural del material, que en cambio, puede causar resonancia y el consecuente fallo.

- Análisis de fatiga, ayuda a los diseñadores a predecir la vida del material o de la estructura, enseñando el efecto de los ciclos de carga sobre el espécimen. Este análisis puede enseñar las áreas donde la propagación de la grieta es más probable que ocurra. El fallo por fatiga puede también enseñar la tolerancia al fallo del material.

- Los modelos de análisis de transferencia de calor por conductividad o por dinámicas térmicas de flujo del material ó la estructura. Esto consiste en una transferencia con un transitorio regular. El estado continuo de transferencia se refiere a las propiedades térmicas en el material que tiene una difusión linear de calor.

Opciones que presentan los programas MEF

Un amplio rango de funciones objetivo (variables con el sistema) están disponibles para la minimización ó la maximización:

- Masa, volumen, temperatura.
- Energía tensional, estrés tensional.
- Fuerza, desplazamiento, velocidad, aceleración.
- Sintético (definidos por el usuario).

Hay múltiples condiciones de carga que se pueden aplicar al sistema. Algunos ejemplos son:

- Puntuales, presión, térmicas, gravedad, y cargas centrífugas estáticas.
- Cargas térmicas de soluciones del análisis de transmisión de calor.

- Desplazamientos forzados.
- Flujo de calor y convección.
- Puntuales, de presión, y cargas de gravedad dinámicas.

Cada programa MEF puede venir con una librería de elementos, ó una que es construida con el tiempo. Algunos ejemplos de elementos son:

- Elementos tipo barra.
- Elementos tipo viga.
- Placa/Cáscara/Elementos compuestos.
- Panel de sándwich.
- Elementos sólidos.
- Elementos tipo muelle.
- Elementos de masa.
- Elementos rígidos.
- Elementos amortiguadores viscosos.

Muchos programas MEF también están equipados con la capacidad de usar múltiples materiales en la estructura, como:

- Isotrópicos, homogéneos.
- Ortotrópicos, idénticos a 90 grados.
- Anisotropía general, heterogéneos.

4.1.7. Aplicación de AEF a la ingeniería mecánica

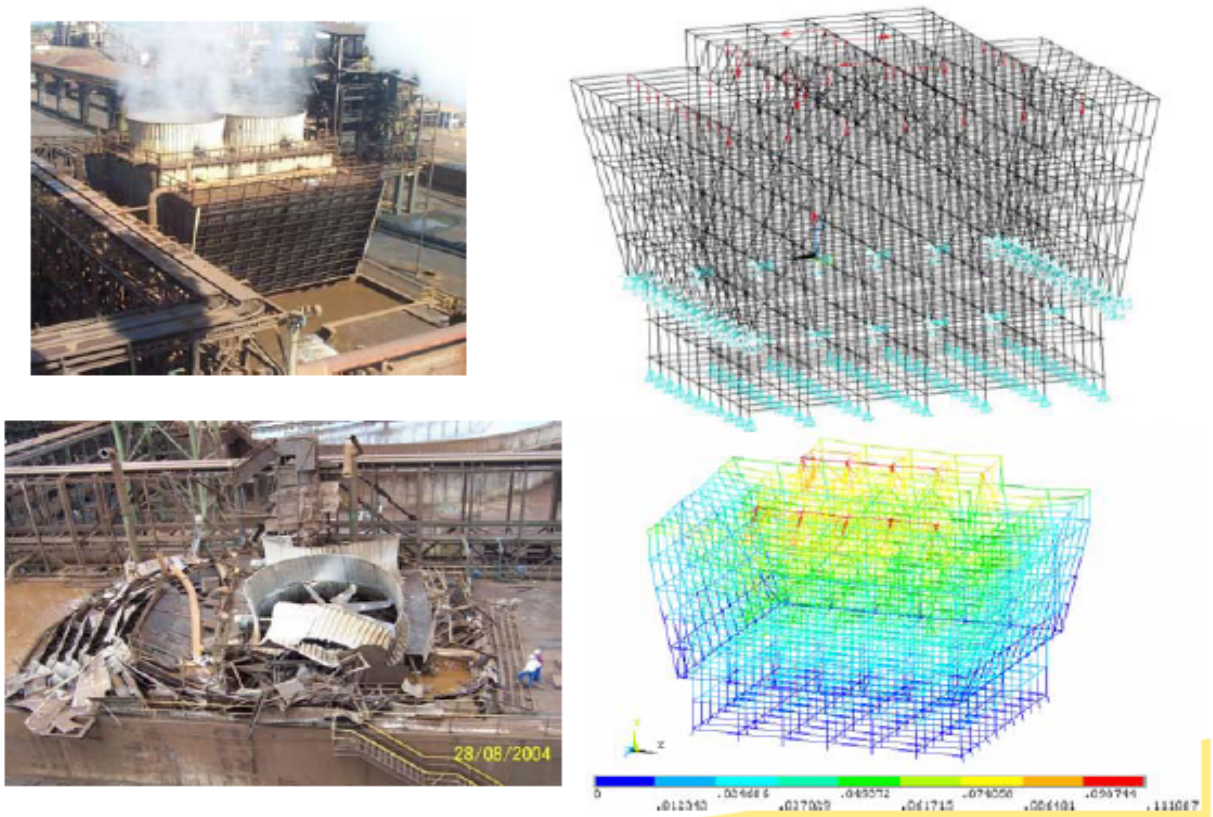
Una variedad de especializaciones bajo el ámbito de la ingeniería mecánica tal como lo es la aeronáutica, biomecánica, y las industrias automotrices, todas comúnmente usan el análisis de elementos finitos integrado en el diseño y desarrollo de sus productos. Varios paquetes modernos de AEF incluyen componentes específicos como el térmico (termal), electromagnético, fluido y ambientes de trabajo estructural. En una simulación estructural el análisis de elementos finitos ayuda a producir visualizaciones de rigidez y fuerza y además ayuda a minimizar peso, materiales y costos. El análisis de elementos

finitos permite una detallada visualización de en donde las estructuras se doblan o sufren, e indica la distribución del esfuerzo y los desplazamientos. Los programas computacionales de análisis de elementos finitos proveen un amplio rango de opciones de simulación para controlar la complejidad de ambos, el modelado y el análisis de un sistema. De forma similar, el nivel deseado de precisión y los requerimientos de tiempo computacional asociados pueden ser manejados simultáneamente para atender a la mayoría de las aplicaciones de ingeniería.

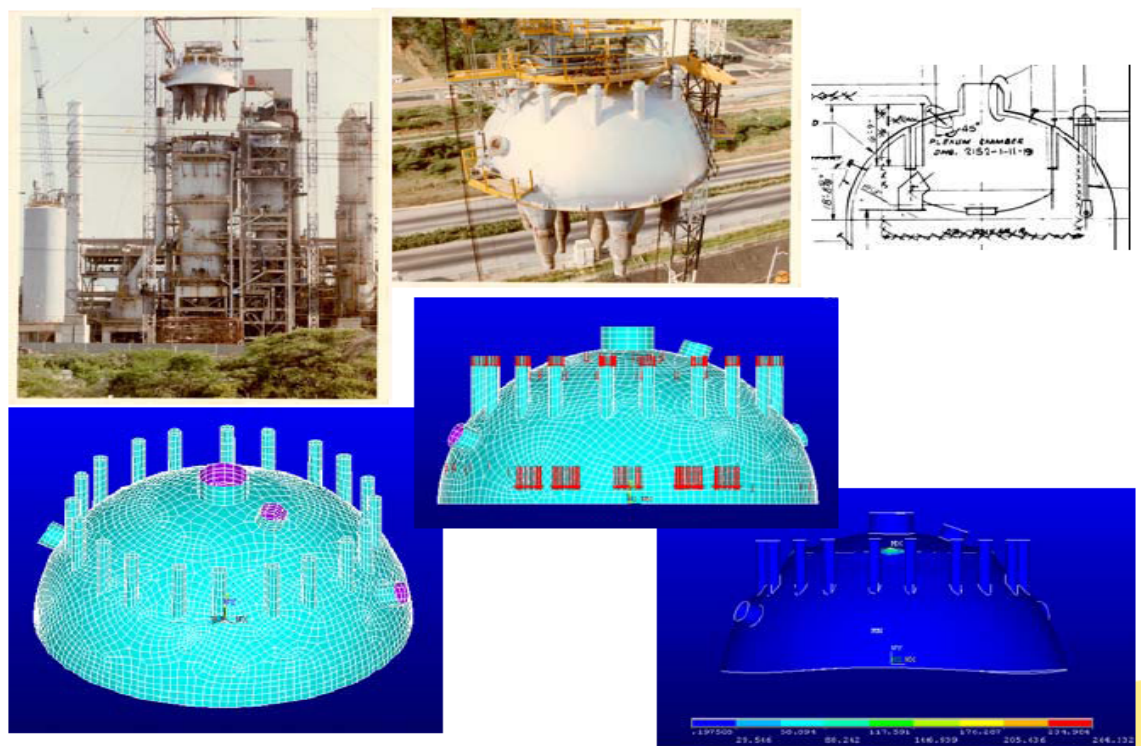
El análisis de elementos finitos, permite la construcción de diseños enteros, su refinación y la optimización de éstos antes de que el diseño sea manufacturado. Esta poderosa herramienta de diseño ha mejorado en gran forma, ambos, el estándar de diseños en ingeniería y la metrología del proceso del diseño en muchas aplicaciones industriales. La introducción del análisis de elementos finitos ha reducido el tiempo que se toma para llevar productos desde el concepto hasta la línea de producción. A través de la mejora de diseños de prototipos iniciales usando el análisis de elementos finitos que han acelerado, principalmente, las pruebas y el desarrollo. En resumen, los beneficios del análisis de elementos finitos son: una alta precisión, diseño mejorado, y una mejor percepción de los parámetros críticos de diseño, prototipos virtuales, menos prototipos de *hardware*, y ciclo de diseño más rápido y económico, alza en la productividad y en las ganancias [20].

A continuación se muestran varios ejemplos de aplicación de los MEF [21].

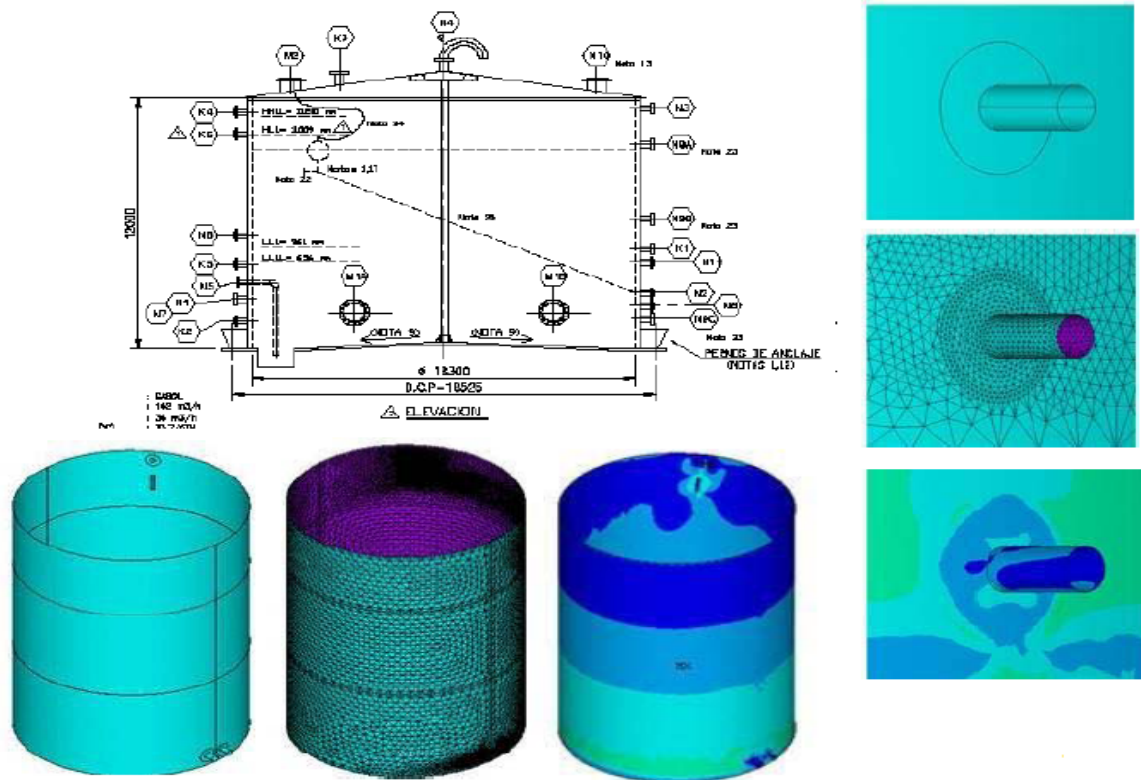
Colapso de torre de enfriamiento



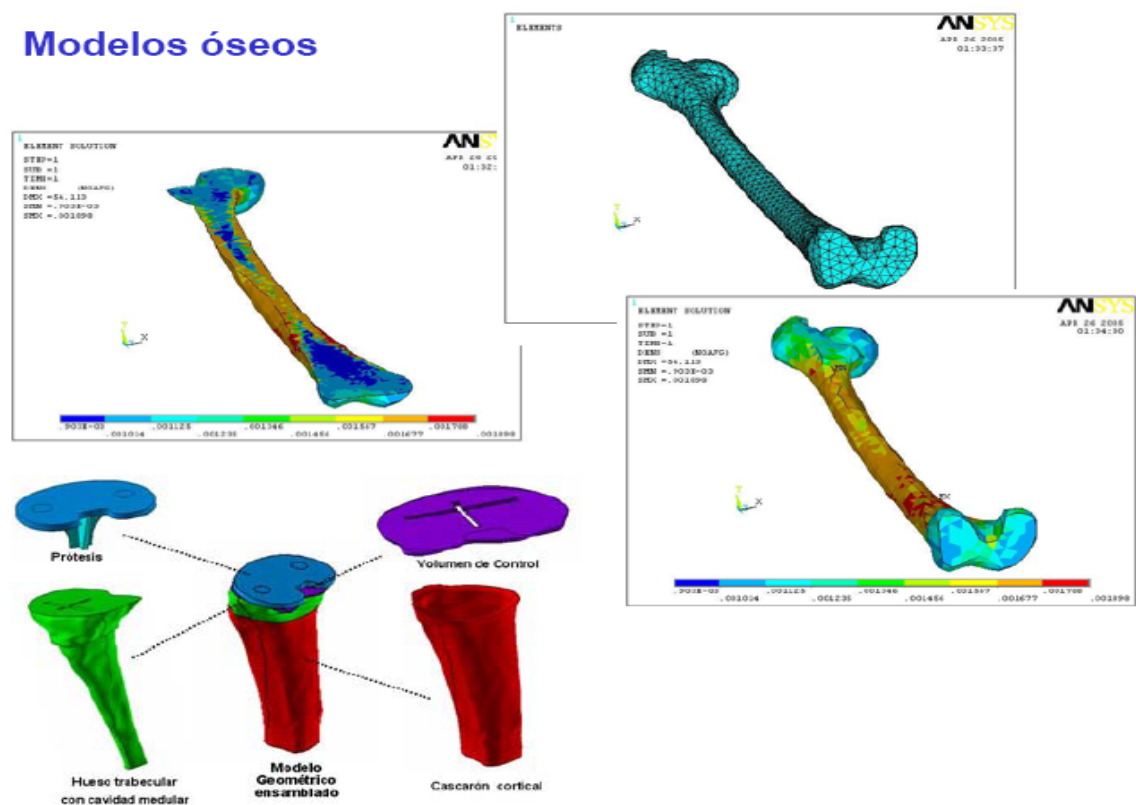
Izamiento de domo hemisférico de recipiente a presión



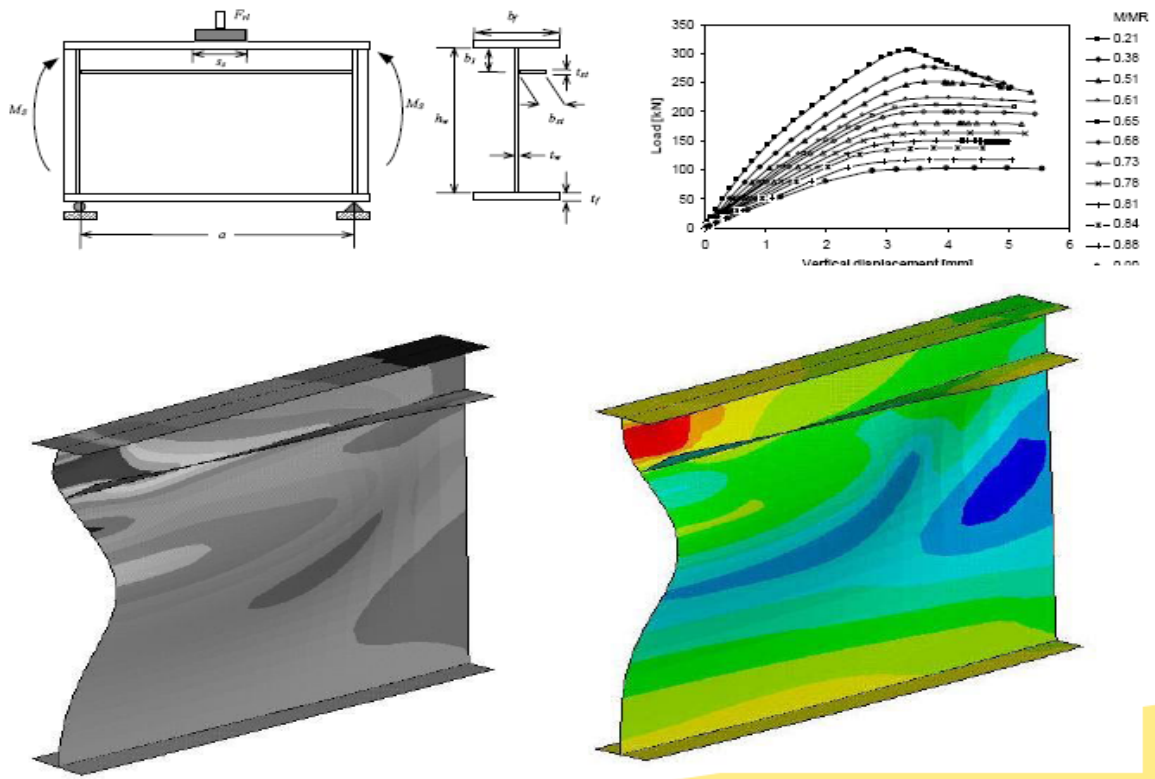
Verificación de boquillas y clips en tanques atmosféricos



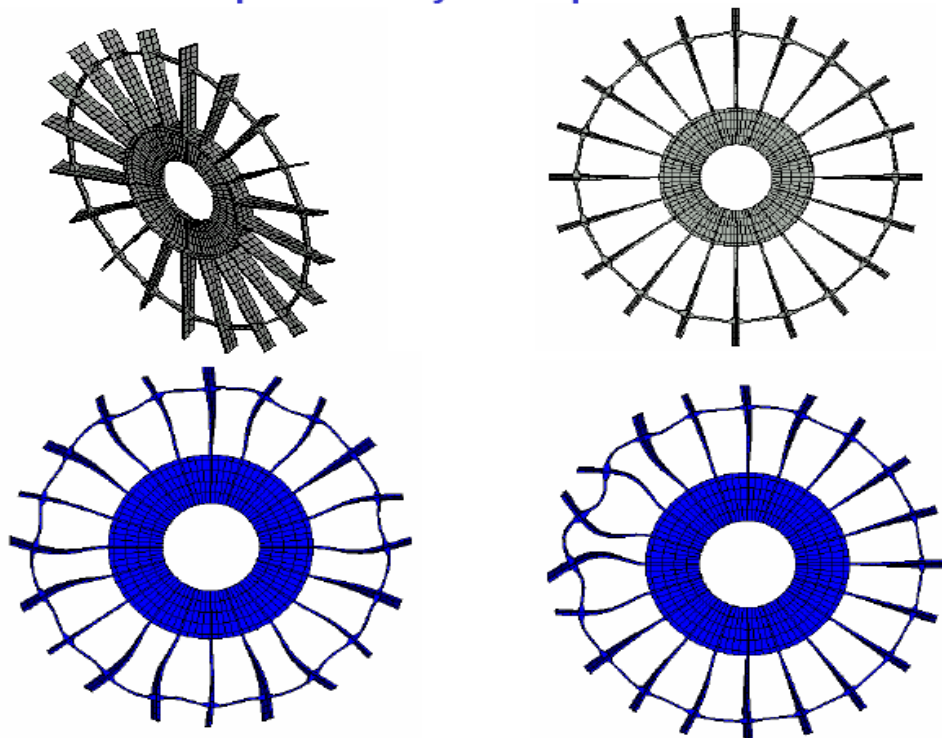
Modelos óseos



Estabilidad estructural / Pandeo localizado en vigas



Cálculo de frecuencias y modos propios de vibración en estructuras periódicas y cuasi-periódicas



4.2. ANSYS

4.2.1. Introducción

ANSYS, Inc. Fue fundada en 1970 (Swanson Analysis Systems, Inc.) utilizando aproximadamente 1700 empleados. La mayoría con experiencia en elementos finitos y dinámica de fluido computacional (Figura 56).



Figura 56. ANSYS

ANSYS desarrolla, gestiona y presta soporte a la ingeniería a través de software de simulación para predecir cómo funcionará y reaccionará determinado producto bajo un entorno real.

ANSYS, Inc. es un software de simulación ingenieril. Está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos para fluidos.

En 2008, el National Institute of Standards and Technology de Estados Unidos utilizó ANSYS para modelar los acontecimientos que llevaron al desplome del World Trade Center durante los atentados del 11 de septiembre de 2001.

ANSYS (como la gran mayoría de los programas de AEF) está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Este procesador de elementos finitos para la solución de problemas mecánicos incluye: análisis de estructuras dinámicas y estáticas

(ambas para problemas lineales y no-lineales), análisis de transferencia de calor y fluidodinámica, y también problemas de acústicas y de electromagnetismo. Normalmente el uso de estas herramientas se utiliza simultáneamente logrando mezclar problemas de estructuras junto a problemas de transferencia de calor como un todo. Este software es usado en ingeniería civil y eléctrica, física y química (Figura 57).

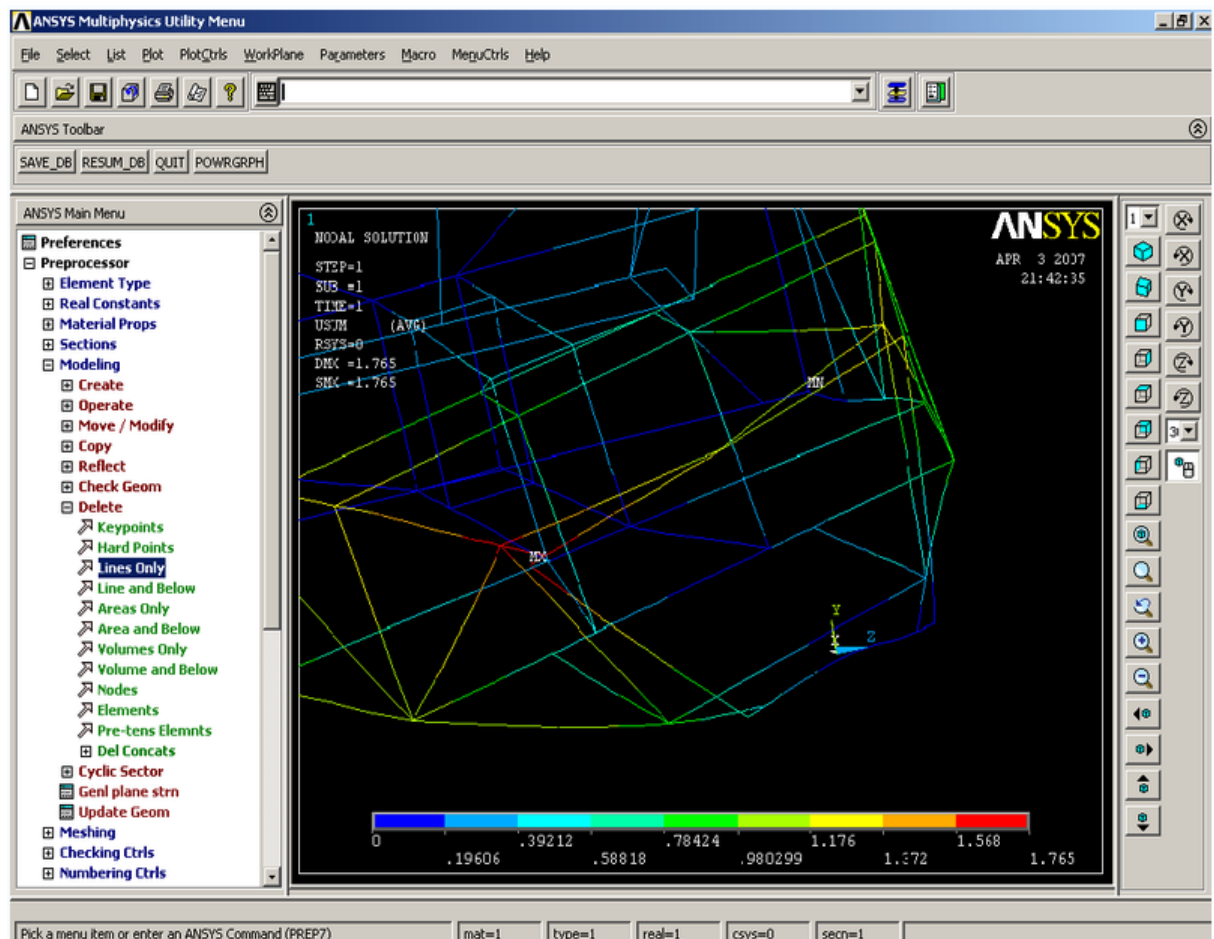


Figura 57. Interfaz de ANSYS

Productos ANSYS:

- **ANSYS:** Análisis estructural, transferencia de calor, dinámica de fluidos, electromagnética, campos acoplados.
- **ANSYS Workbench:** Análisis estructural, térmico, de fluidos, electromagnético.

- **ANSYS CFX:** Procesos con fluidos, flujos, transferencias de calor o reacciones químicas en CFD.
- **Soluciones ANSYS AUTODYN:** Software explícito para análisis de cargas extremas de corta duración.
- **Soluciones ANSYS de mallado:** ANSYS ICEM CFD/Al*Environment es una herramienta para el pre-proceso y post-proceso.
- **CivilFEM con ANSYS:** Análisis estructural y aplicaciones de Ingeniería civil.

4.2.2. Características y desventajas de ANSYS

Integrado

Permite la asociación de distintas tecnologías para el desarrollo de un producto sin abandonar una única plataforma. Además su integración permite la asociación con los software más avanzados de CAD. Por último, su sistema de integración permite incluirse sin dificultad en sistemas de documentación propios de cada empresa.

Modular

ANSYS permite que los clientes instalen una única aplicación para la solución de un problema específico. A medida que el usuario avanza en la solución, este puede necesitar análisis más complejos. Los distintos módulos de ANSYS permiten solucionar los problemas por partes.

Extensible

ANSYS propone "integración vertical" o adaptaciones más específicas según las requiera el cliente. Estas adaptaciones pueden automatizar procesos que realiza normalmente un cliente hasta aplicaciones más complejas que se adaptan a determinados sectores industriales.

Desventajas

La mayoría de los errores y desventajas de ANSYS, más que basarse en el programa mismo, se basan en el elemento finito utilizado por el programa para realizar los análisis [22].

1. La solución otorgada por el programa es una compleja mezcla de cálculos discretos. Y los esfuerzos, temperaturas y otras propiedades representan parámetros continuos. Dicho esto, los resultados arrojados por ANSYS son aproximaciones que dependerán del número de elementos utilizados.
2. La geometría del objeto que se desee analizar puede generar errores en la solución debido a que si el mallado realizado no mantiene ciertos parámetros en rango predeterminados como son los ángulos de las aristas, así como las relaciones de tamaño en las aristas, el método puede fallar en un punto, lo cual afecta la convergencia del sistema.
3. La densidad de elementos utilizados se debe ingresar de manera manual. Es decir, el usuario debe ejecutar el modelo en ANSYS de forma sucesiva, aumentando consecutivamente la cantidad de elementos utilizados hasta conseguir una convergencia que varíe menos que el criterio de parada utilizado. Esto genera gran costo computacional y de tiempo por parte del usuario.
4. Debido a la utilización de un rango discreto en cuanto a las propiedades de la materia, se debe aumentar la cantidad de puntos en el mallado del objeto en los puntos en que el gradiente de la propiedad analizada sea muy grande para obtener resultados más precisos.
5. El tipo de elemento, así como algunas propiedades son introducidas de forma manual por el usuario. Lo cual genera errores de tipo humano en la utilización de ANSYS, que en ocasiones el programa no reconoce y por tanto no muestra una alerta sobre los rangos normalmente utilizados.

4.3. PROBLEMAS DE TIPO NO LINEAL EN MEF

4.3.1. Introducción

La mayoría de los análisis por métodos de elementos finitos (MEF) que se realizan, se basan en la solución de problemas estáticos, donde el valor de la carga no varía en función del tiempo y existe una relación lineal entre la fuerza y la deformación (Ley de Hooke). Sin embargo no todos los modelos cumplen con las condiciones antes mencionadas, estos modelos son conocidos como no lineales.

A diferencia de lo que ocurre en los metales, que requieren relativamente pocas propiedades para caracterizar su comportamiento, el tratamiento del caucho es muy complejo, debido a que nos encontramos ante un tipo de problema no lineal de geometría y de material [23].

4.3.2. Teorías que caracterizan los modelos hiperelásticos de material

La goma es un material capaz de deformarse varias veces desde su forma original y, al cesar la acción de la fuerza que ha provocado dicha deformación, recuperar la forma original, razón por la cual se conoce como elastómero. Este tipo de material se ha utilizado en diversas aplicaciones, dentro de las más difundidas se encuentran los neumáticos, calzado, bandas elevadoras, mangueras, sellos, etc.

Para caracterizar el comportamiento mecánico de los materiales elastómeros se han desarrollado múltiples modelos teóricos (Mooney-Rivlin, Ogden, Yeoh, etc.), los cuales se basan en el estudio de geometrías y sollicitaciones sencillas (compresión uniaxial, tracción uniaxial, cortante, etc.).

A continuación se brindan las ecuaciones para los diferentes modelos hiperelásticos.

Rivlin, propuso que la función de densidad de energía de deformación (W) se podía expresar como un polinomio de:

Los alargamientos principales:

$$W = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$$

o las invariantes de deformación:

$$W = (I_1, I_2, I_3)$$

Donde:

$$\lambda = \frac{L}{L_0} = \frac{L_0 + u}{L_0} = 1 + \frac{u}{L_0}$$

Alargamiento principal, relación entre la longitud del elemento deformado y la longitud inicial para cada una de las direcciones principales.

Invariantes de deformación:

$$I_1 = (\lambda_1)^2 + (\lambda_2)^2 + (\lambda_3)^2$$

$$I_2 = (\lambda_1 \cdot \lambda_2)^2 + (\lambda_2 \cdot \lambda_3)^2 + (\lambda_3 \cdot \lambda_1)^2$$

$$I_3 = (\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3)^2$$

Para materiales incompresibles $I_3=1$

Partiendo de la proposición realizada por Rivlin, se llegó a la función de densidad de energía de deformación que mostramos a continuación:

$$W = \sum_{i+j=1}^N c_{ij} \cdot (I_1^c - 3)^i \cdot (I_2^c - 3)^j + \sum_i^N \frac{1}{D_i} \cdot (J^c - 1 - R)^{2 \cdot i}$$

Donde:

C_{ij} : Coeficiente de Rivlin

D_i : Coeficiente que define la compresibilidad del material

R : Coeficiente que define la expansión volumétrica con cambio de temp.

$$I_1^c = (\lambda_1^c)^2 + (\lambda_2^c)^2 + (\lambda_3^c)^2$$

$$I_2^c = (\lambda_1^c \cdot \lambda_2^c)^2 + (\lambda_2^c \cdot \lambda_3^c)^2 + (\lambda_3^c \cdot \lambda_1^c)^2$$

$$J^c = (\lambda_1^c \cdot \lambda_2^c \cdot \lambda_3^c)^2$$

Como la expresión dada anteriormente de Rivlin es muy compleja de aplicar, sucesivos investigadores fueron desarrollando casos particulares de dicha expresión y

que posteriormente han sido implementados en los diferentes programas de elementos finitos.

Modelo de Mooney-Rivlin

Es un modelo basado en los invariantes de deformación y tiene como expresión general:

$$W = \sum_{i+j=1}^N C_{ij}(I_1 - 3)^i(I_2 - 3)^j$$

En 1940, *Mooney* dedujo la ecuación denominada hoy en día *Mooney-Rivlin* de primer orden o de dos constantes, que presenta la forma:

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3)$$

La cual, muestra buenos resultados para ensayos tensionales con valores de deformación superior al 10%, pero resulta inadecuado en la descripción de la deformación por compresión. No obstante este modelo falla para materiales sometidos a grandes deformaciones 60%.

A partir de este modelo se han obtenido las diferentes expresiones de la función de densidad de energía de deformación conocidas como *Neo-Hookean*, *James-Green-Simpson*, *Yeoh*, etc.

Si se utiliza únicamente el primer término de la ecuación de *Mooney-Rivlin*, se obtiene el modelo *Neo-Hookean* que cumple la ecuación:

$$W = C_{10}(I_1 - 3)$$

Ambos modelos presentan la característica de que son aplicados para pequeñas deformaciones y por tanto podemos tratar la curva esfuerzo-deformación con términos de la elasticidad clásica, es decir, módulo de Young (E) y módulo de cortante (G) donde:

$$E = (C_{10} + C_{01}) \cong 3 \cdot G$$

Posteriormente sucesivos investigadores como *James-Green-Simpson* desarrollaron la ecuación general de *Rivlin* con un alto número de constantes, y como resultado nació el modelo conocido como *Mooney-Rivlin* de segundo orden (5 constantes), de ecuación:

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) + C_{11}(I_1 - 3)(I_2 - 3) + C_{20}(I_1 - 3)^2 + C_{30}(I_1 - 3)$$

Este modelo describe un módulo de cortante no lineal, con un valor no constante.

Puede ser utilizado hasta un mayor grado de deformación por incorporar un punto de inflexión en la curva de esfuerzo-deformación.

Trabajos investigativos realizados por *Duncan y Crocker*, demuestran que cuando se trabaja con cauchos de durezas bajas (<55Sh A) se observa que a deformaciones hasta el 30 % el modelo *Mooney-Rivlin* de cinco constantes o alguna de sus variantes reproducen bien el ensayo, pero si se aumenta el grado de deformación hasta un 60% ninguna de las variantes da resultados coherentes.

Sin embargo, al aumentar la dureza del caucho, el modelo *Mooney-Rivlin* se ajusta mejor al resultado experimental si el número de constantes calculadas se incrementa, aunque el tiempo utilizado para realizar el ajuste y la posterior simulación del ensayo de compresión se incrementa con el número de constantes.

Yeoh desarrolló un nuevo modelo basado en las invariantes cúbicas y propuso como ecuación de densidad de energía de deformación la siguiente forma:

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{20}(I_1 - 3) + C_{30}(I_1 - 3)$$

Este modelo presenta la característica de que el módulo de cortante varía con la deformación, solo depende de la primera invariante de deformación. *Yeoh* estableció la ecuación cúbica para predecir el comportamiento esfuerzo-deformación en diferentes modos de deformación pero sobre todo en piezas con gran influencia de cortante como es el caso de los neumáticos. Este modelo no se ajusta adecuadamente para problemas que involucran bajas deformaciones.

Modelo de Ogden

Es un modelo basado en las deformaciones principales, su expresión general es:

$$W = \sum_{n=1}^N \frac{\mu_n}{\alpha_n} (\lambda_1^{\alpha_n} + \lambda_2^{\alpha_n} + \lambda_3^{\alpha_n} - 3)$$

Donde α_n, μ_n y β_n son las constantes de ajuste del material y el segundo término representa cambios volumétricos. Según resultados obtenidos por *Ogden*, el modelo es aplicable para cualquier tipo de dureza, y es el que proporciona ajustes con un menor error en comportamientos de elastómeros sometidos a grandes grados de deformación.

Este modelo con $n = 2$ proporciona una buena correspondencia para los casos de tensiones uniaxiales y equibiaxiales.

Estos modelos han sido implementados en programas de cálculo por elementos finitos que permiten poder realizar el estudio y la optimización de una pieza, sin necesidad de llegar a fabricar un prototipo real. Además son capaces de determinar las constantes de las propiedades mecánicas de los materiales a partir de los ensayos experimentales.

Según investigaciones realizadas por *Duncan, Crocker y Uthuppan* arrojaron las siguientes conclusiones:

- El modelo de *Ogden* requiere mayor tiempo de cálculo al tratarse de una función exponencial respecto al modelo *Mooney-Rivlin*, que es una función polinómica.
- La determinación de los valores de las constantes *Mooney-Rivlin* a partir de ensayos experimentales resulta más fácil que las constantes *Ogden*.
- La ecuación de la energía potencial de deformación del modelo *Mooney-Rivlin* es considerada la ley constitutiva más usada en el análisis tensional de los elastómeros.
- El modelo de material hiperelástico *Mooney-Rivlin* ajusta bien el comportamiento de las tensiones respecto a la elongación para el ensayo uniaxial.

4.4. PARAMETRIZACIÓN

4.4.1. Introducción

Para comprender de una manera rápida el concepto de parametrización, lo mejor es un ejemplo simple de la cinemática, donde se ha parametrizado la posición y la velocidad de un móvil, pudiéndose determinar ambas simplemente con un parámetro, el tiempo.

En relación al uso de los recursos informáticos actuales surge el término parametrización, como la organización de elementos (parámetros), generando sistemas de información con conocimiento para elementos tridimensionales.

Este desarrollo en la computación es el pilar de la utilización inteligente de recursos, que permite la reutilización en el uso y el diseño escalable como principios sustentables de cualquier proyecto. Además que con la parametrización se obtiene la

inmejorable ventaja de evitar el empezar desde cero y así poder someter a pruebas severas el diseño, que garanticen su universalidad sobre el colectivo.

Es importante mencionar que el parametrizar tiene que ver con el permitir la modificación dinámica de datos de manera constante, garantizando una fácil actualización e interacción de variables. El establecer parámetros que puedan modificarse fácilmente en una manera organizada de conseguir información.

Aplicado a este proyecto, el objetivo es parametrizar el elevador de cangilones que ha sido dimensionado con el software, en un modelo de elementos finitos para poder ser analizado con ANSYS.

De tal forma que cualquier elevador dimensionado, pueda ser analizado por ANSYS en segundos.

4.4.2. ¿Qué parametrizar?

A la hora de parametrizar el modelo, lo primero es definir cuáles van a ser los parámetros, es decir cuáles son las variables mínimas imprescindibles que definan tanto geométrica como físicamente al modelo. En este caso, la banda de un elevador de cangilones, las variables parametrizadas son las siguientes:

- Espesor de la banda (m)
- Altura del elevador (m)
- Ancho de la banda (m)
- Diámetro del tambor (m)
- Paso del elevador (m)
- Esfuerzo de la correa (kg)

4.4.3. Parametrización del modelo

Como se ha podido leer en capítulo 4.1.4, existen tres fases a la hora de realizar un análisis por elementos finitos, que serían:

- *Pre-procesamiento*. Definir el modelo de elementos finitos y los factores ambientales que influyen en él.

- *Solución del análisis.* Solucionar el modelo de elementos finitos.
- *Post-procesamiento* de resultados usando herramientas de visualización

La parametrización de este modelo, solo abarca la primera fase, es decir, la de pre-procesamiento, donde se definirán todas las variables del material, la geometría, restricciones, cargas, etc.

Por tanto, una vez definidas las variables a controlar, se muestra el código de parametrización usado para llevar a cabo el modelo.

4.4.3.1. Tipo de análisis

Lo primero a definir es el tipo de análisis que se desea realizar, como se ha visto ANSYS puede realizar simulaciones tanto estáticas como dinámicas (Ls-Dyna) y desde análisis estructurales a electromagnéticos, pasando por simulaciones de fluidos.

Este proyecto no se centra tanto en el análisis con ANSYS en sí, si no en crear una base de un modelo parametrizado que se pueda comunicar, como es en este caso desde un Excel con ANSYS.

Por lo tanto, el modelo parametrizado será para simular una situación estática de la banda desde el punto de vista estructural, es decir, para poder ver los puntos críticos de la banda, las deformación que se producen en ella, etc.

Para ello, el código que viene a continuación indica, con un 1 en STRUC, que se trata de un análisis de tipo estructural.

```
! *   Ti po  aná l i si s
/NOPR
/PMETH, OFF, 0
KEYW, PR_SET, 1
KEYW, PR_STRUC, 1
KEYW, PR_THERM, 0
KEYW, PR_MULT, 0
/GO
! *
/COM,
/COM, Preferences for GUI filtering have been set to display:
/COM,   Structural
! *
FINISH
```


Realizando un análisis no parametrizado, en el que el usuario tiene que realizar todo el pre-procesamiento desde el interfaz de ANSYS, el equivalente a este código sería lo que se muestra en la Figura 58.

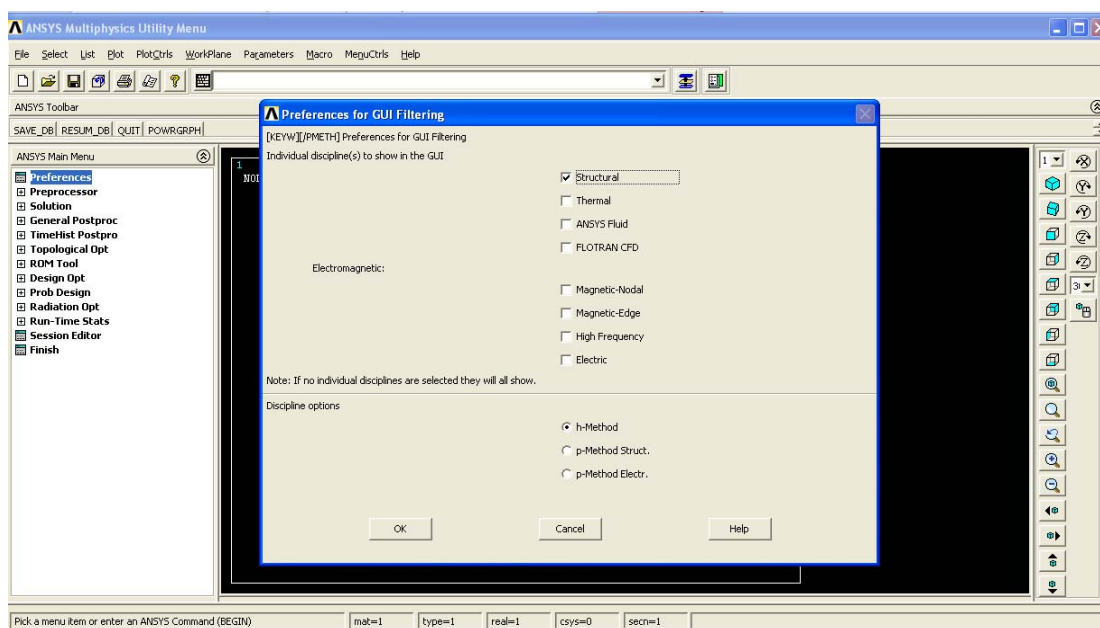


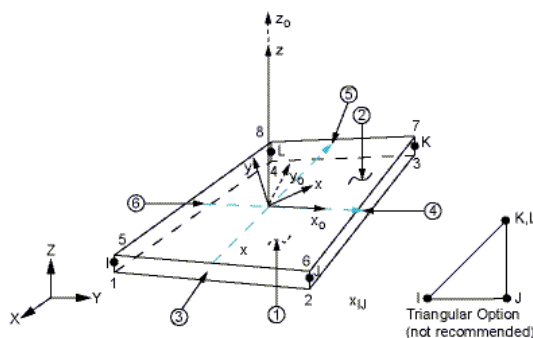
Figura 58. Ventana ANSYS. Tipo de análisis.

4.4.3.2. Selección del tipo de material y sus constantes

El siguiente paso es definir el tipo de material y sus constantes, es decir, qué tipo de elemento geométrico se va a utilizar para simular la banda en el modelo de elementos finitos. A este paso ANSYS lo denomina como, tipo de elemento (*Element Type*).

Para este modelo se ha elegido el elemento SHELL 181 de la librería de ANSYS. Este tipo de elemento es adecuado para el análisis de las estructuras tipo placa de un grosor medio que se comportan de manera elástica no lineal, como es el caso de la banda. Es un elemento de 4 nodos con seis grados de libertad en cada nodo: traslación en la x, y y z, y rotaciones sobre la x, y y z ejes [24].

La geometría, la ubicación de los nodos, y el sistema de coordenadas para este elemento se muestra en la Figura 59. El elemento está definido por los nodos: I, J, K y L.



x_0 = Element x-axis if ESYS is not supplied.

x = Element x-axis if ESYS is supplied.

Figura 59. Geometría del elemento SHELL 181

En este apartado hay que introducir las constantes reales, en este modelo sólo se introducirá el espesor de la banda, ya que el elemento elegido es una placa y por defecto viene sin espesor. El resto de constantes carecen de relevancia en este modelo, como ya se ha comentado, el espesor es un valor a parametrizar ya que será distinto en cada análisis. Visto desde la venta de ANSYS, se tiene la Figura 60.

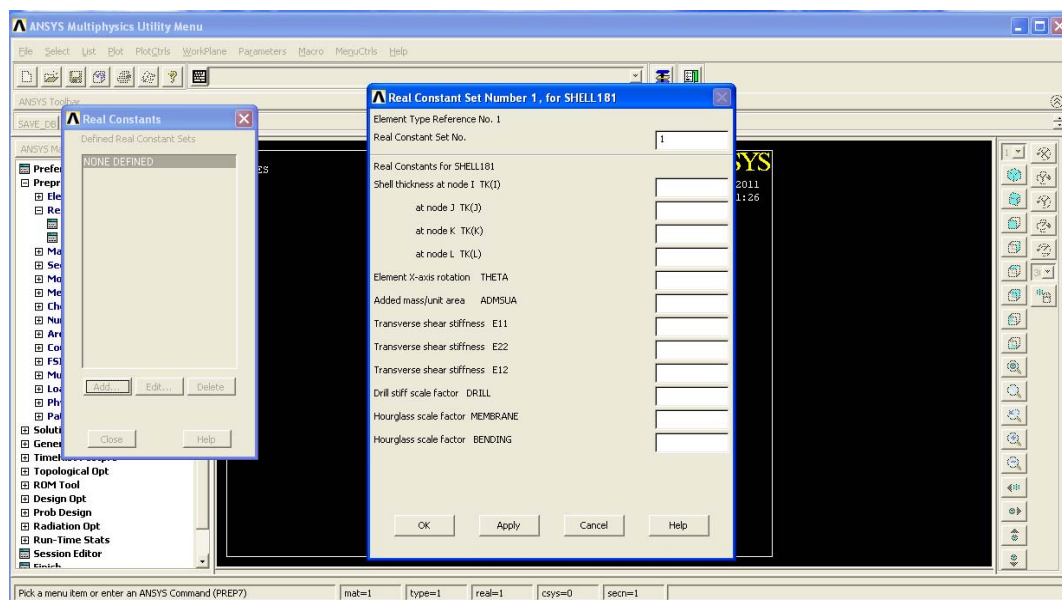


Figura 60. Ventana ANSYS. Real Constants

Por tanto el código que parametriza el tipo de elemento y sus constantes es:

```
! * Selección tipo de material y constantes
/PREP7
! *
```

```

ET, 1, SHELL181
! *
R, 1, VALOR PARAMETRIZADO (ESPESOR), , , , ,
RMORE, , , ,
RMORE
RMORE, ,

```

Para evitar dudas con el siguiente apartado, lo que se ha hecho aquí, es definir un bloque de un material, con unas características geométricas determinadas, que por sí solo no tiene utilidad porque realmente no se ha definido que material es, o sea su comportamiento. En el siguiente apartado se definirá cómo se va a comportar ese tocho de material aquí seleccionado, definiendo al 100% el material del modelo.

4.4.3.3. Selección de las propiedades del material

Este apartado es un punto crítico del proyecto, ya que de él depende prácticamente al 100% que el cálculo de ANSYS converja a una solución medianamente óptima o no dé ningún resultado por un mal comportamiento del material.

Como el título indica, en este punto se define cómo se comportará el material, es decir, la banda del elevador de cangilones. Dicha banda es de un material elástico no lineal, cuyo comportamiento es muy complejo de reproducir por la falta de información, como se verá más adelante.

Ansyes, al igual que para el tipo de elemento, dispone de una librería con distintos tipos de comportamiento de los materiales (*Define Material Model Behavior*) (Figura 61).

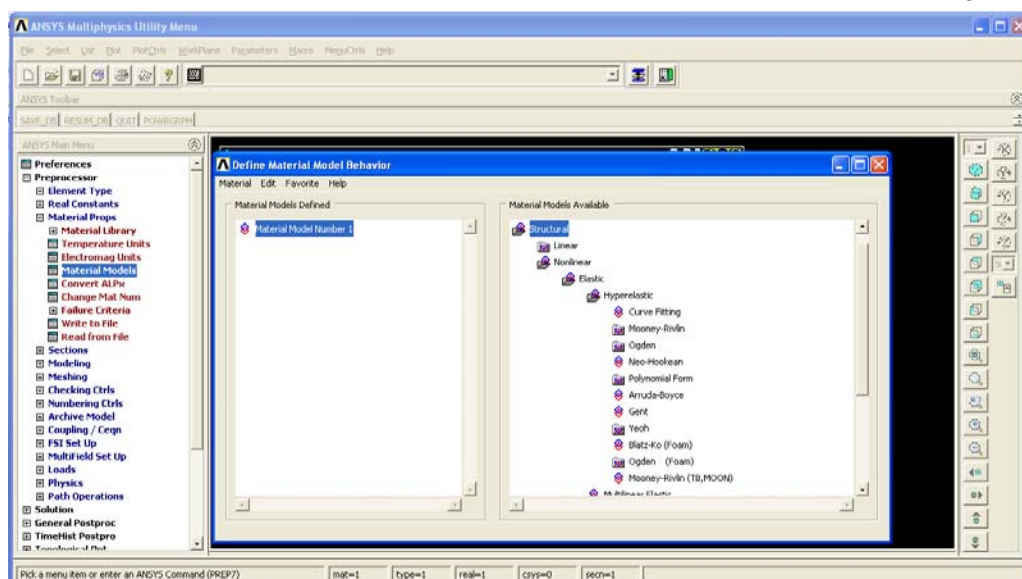


Figura 61. Ventana ANSYS. Define Material Model Behavior.

Todos estos modelos de la librería de Ansys ya han sido expuestos en el apartado 4.3, donde ha quedado explicado qué ventajas y desventajas tiene cada uno de los modelos, y donde se ha determinado que el modelo que mejor se ajusta a la banda de un elevador, es el modelo de *Mooney-Rivlin*. Así, éste será el modelo elegido y según el cual se comportará nuestro modelo de elementos finitos.

Una vez definido el modelo (*Mooney-Rivlin*), hay que definir los parámetros de ese modelo. Para ello ANSYS ofrece dos opciones, la primera opción es introducir las constantes de la ecuación directamente (C_{10} y C_{01}); para esta opción es necesario conocer el valor de ambas constantes, valores de los que no disponemos (Figura 62).

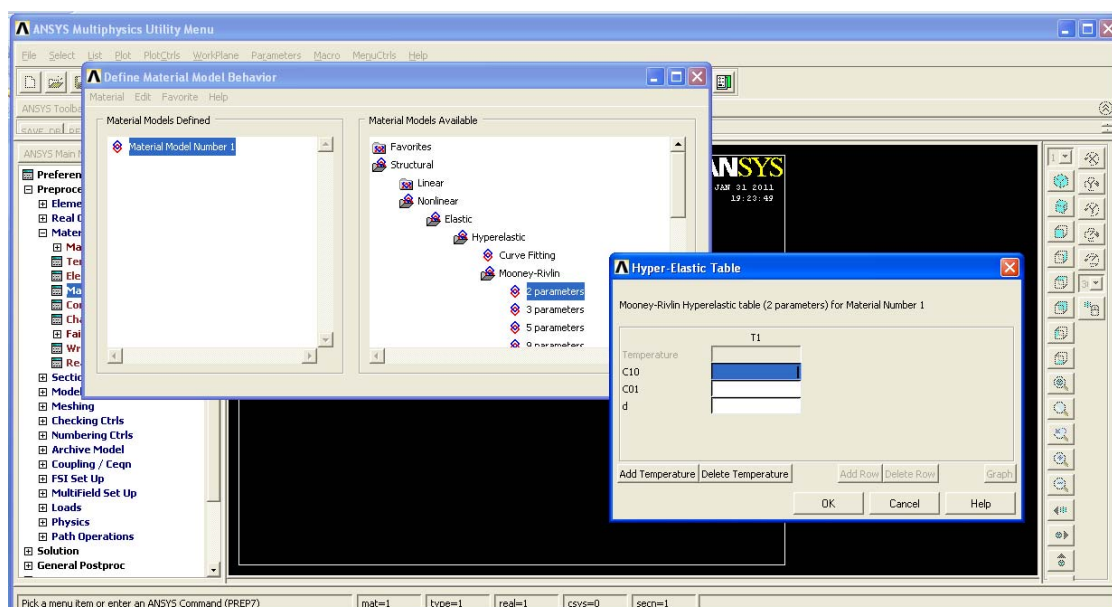


Figura 62. Ventana ANSYS. Introducción constantes Mooney-Rivlin

Al no disponer de esos valores, se opta por la segunda alternativa de ANSYS, la cual permite introducir una grafica tensión-deformación (en formato .txt), y el propio programa calcula las constantes (C_{10} y C_{01}), necesarias para la caracterización del material (Figura 63).

Así, se usará esta opción para obtener las constantes, y posteriormente poder introducir dichas constantes en el código de la parametrización.

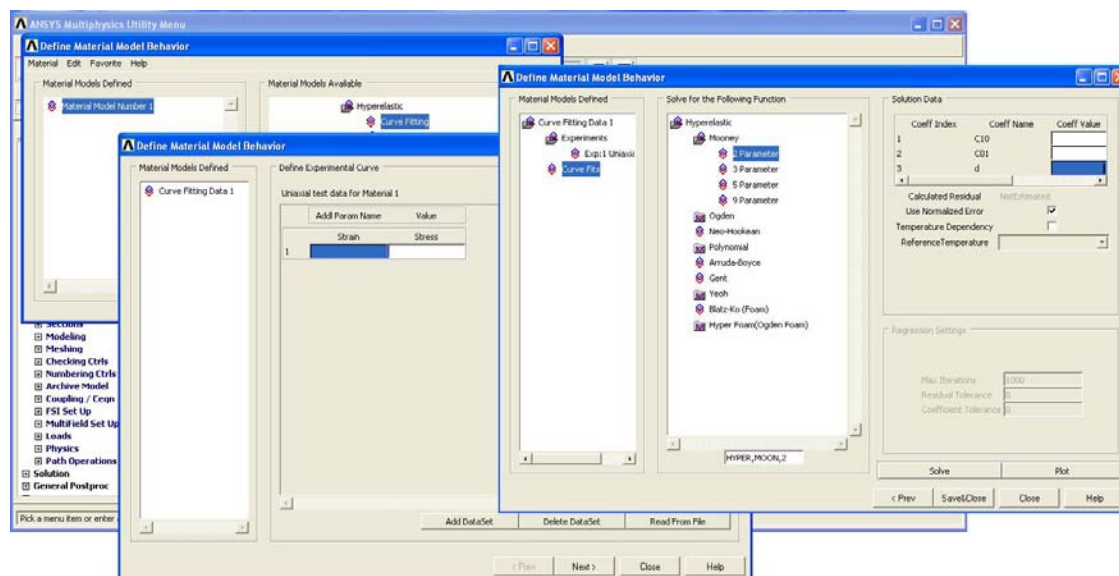


Figura 63. Ventana ANSYS. Introducción grafica tensión-deformación y cálculo de las constantes Mooney-Rivlin.

Es en este punto donde se hace patente que nos encontramos ante un hito del proyecto, ya que la única forma de caracterizar el material es introduciendo una gráfica tensión-deformación, de, por ejemplo, un ensayo de tracción de la banda de un elevador, información de la que no ha sido posible disponer por la negativa de varias empresas dedicadas a este campo a facilitar dichos datos.

Para poder seguir adelante con el proyecto, la solución adoptada fue obtener la información de catálogos encontrados en la web, donde algunos fabricantes dan valores aproximados de tensiones de roturas, deformaciones, etc.

Por ello, éste es un punto débil del proyecto, al no poder caracterizar el comportamiento del material al 100%, pero finalmente al no ser la caracterización del material en ANSYS el objetivo del proyecto, sino, la parametrización de un modelo, se opta por continuar y proponer como trabajo futuro la caracterización de este tipo de cauchos, para conseguir así, en un futuro, que la simulación sea lo más próxima a la realidad [24].

A continuación se muestra el código que parametriza la caracterización del material:

```
! * Selección propiedades del material mooney-rivlin
TB, HYPE, 1, 1, 2, MOON
TBTEMP, 0
```

```
TBDATA, , 6700000, 1680000, 0, , ,
```

En este punto ya se tiene parametrizado un material que, ante la aplicación de fuerzas, se comporta, más o menos, como una banda real de un elevador.

El siguiente paso es parametrizar el modelado de la banda, acorde en cada caso, con las dimensiones que requiera cada simulación.

4.4.3.4. Modelado de la banda

A continuación se procede al modelado de la banda del elevador; al haber seleccionado un material tipo placa (shell), se modelará una banda sin espesor, ya que este valor ya ha sido introducido en el programa en el apartado 4.4.3.2, como una *Real Constant*, para poder ir viendo lo que realiza cada bloque de código, van a ir acompañados de una imagen para poder comprender, fácil y rápidamente, cual es el proceso del modelado de la banda.

- Código parametrizado para la creación del contorno de la banda (Figura 64). Se basa en la creación de *keypoints* y *lines* que unen los *keypoints* creando el contorno de la banda.

```
/PREP7
paso_cangi lon= VALOR PARAMETRIZADO (PASO)
altura_cangi lon= VALOR PARAMETRIZADO (ALTURA)
radio_tambor= VALOR PARAMETRIZADO (RADIO TAMBOR)
! * num_cangi l ones=altura_cangi lon/paso_cangi lon
num_cangi l ones=33
k, , 0, 0, 0
k, , 0, radio_tambor, 0
*DO, i, 1, num_cangi l ones
k, , 0, (i *paso_cangi lon)+radio_tambor, 0
*ENDDO
k, , 0, altura_cangi lon+radio_tambor, 0
k, , 0, altura_cangi lon+(2*radio_tambor), 0
*GET, num_KP, KP, , COUNT, , , ,
! *
*GET, min_KP, KP, , NUM, MIN, , , ,
KP1=min_KP
*DO, i, 1, num_KP-1
*GET, KP2, KP, KP1, NXTH
LSTR, KP1, KP2
KP1=KP2
*ENDDO
! * Copy
FLST, 3, 36, 4, ORDE, 2
```

```

FITEM, 3, 1
FITEM, 3, -36
LGEN, 2, P51X, , , 0.28, , , , 1
! * Líneas arriba y abajo
LSTR, , 74, 37
LSTR, , 1, 38
! * Redondeos
LFILLT, 36, 73, 0.14, ,
LFILLT, 72, 73, 0.14, ,
LFILLT, 1, 74, 0.14, ,
LFILLT, 37, 74, 0.14, ,

```

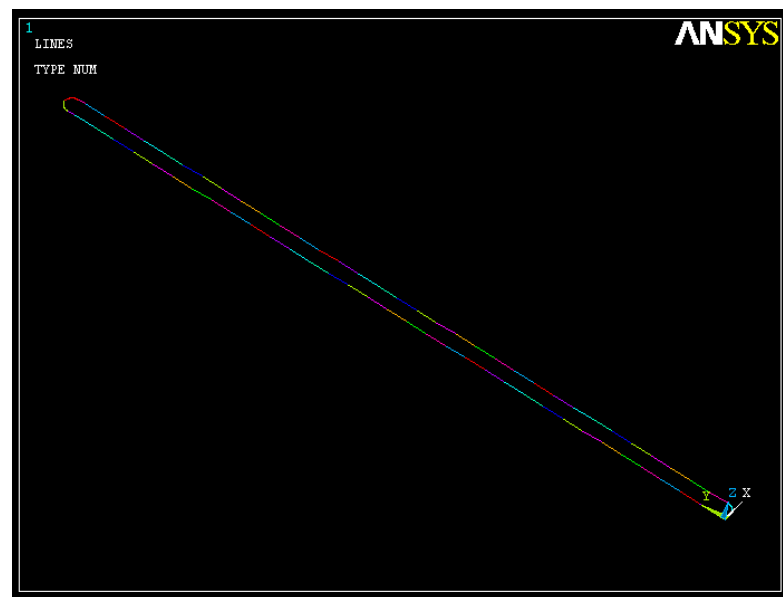


Figura 64. Contorno de la banda en ANSYS

- Código parametrizado para la extrusión del contorno y creación de los taladros (Figura 65). Se extrusiona el contorno de la banda anteriormente creado, dándole la tercera dimensión, y se crean los puntos donde se fijaran los cangilones, en unos casos serán taladros y en otros casos simplemente unos puntos donde irá la carga equivalente (esta simplificación, es debida al límite de la malla, como se verá más adelante).

```

! * Extrusion
K, , 0.14, 0, VALOR PARAMETRIZADO (ANCHO1),
K, , 0.14, 0, VALOR PARAMETRIZADO (ANCHO2),
K, , 0.14, 0, VALOR PARAMETRIZADO (ANCHO3),
K, , 0.14, 0, VALOR PARAMETRIZADO (ANCHO),
KDELE, 1
KDELE, 37

```

```

LSTR, 74, 38
LSTR, 38, 76
LSTR, 76, 77
LSTR, 77, 78

FLST, 2, 72, 4, ORDE, 5
FI TEM, 2, 1
FI TEM, 2, -36
FI TEM, 2, 38
FI TEM, 2, -72
FI TEM, 2, 75
FLST, 8, 4, 4
FI TEM, 8, 37
FI TEM, 8, 73
FI TEM, 8, 74
FI TEM, 8, 76
ADRAG, P51X, , , , , P51X

! * Colocamos el WP y hacemos los agujeros
wpro, , , 90.000000
wpoff, 0, 0, 0.28
wpoff, -0.0605360169491525, 0, 0
wpoff, 0, 0.86, 0
CYL4, 0, 0, 4*0.001
wpoff, 0, 5.04, 0
CYL4, 0, 0, 4*0.001
wpoff, 0, 6.12, 0
CYL4, 0, 0, 4*0.001
wpoff, -0.0594639830508475, 0, 0
CYL4, 0, 0, 4*0.001
wpoff, 0, -6.12, 0
CYL4, 0, 0, 4*0.001
wpoff, 0, -5.04, 0
CYL4, 0, 0, 4*0.001
wpoff, -0.0594639830508475, 0, 0
CYL4, 0, 0, 4*0.001
wpoff, 0, 5.04, 0
CYL4, 0, 0, 4*0.001
wpoff, 0, 6.12, 0
CYL4, 0, 0, 4*0.001
WPSTYLE, , , , , , 0
! * Realizamos el subtract
FLST, 2, 288, 5, ORDE, 2
FI TEM, 2, 1
FI TEM, 2, -288
FLST, 3, 9, 5, ORDE, 2
FI TEM, 3, 289
FI TEM, 3, -297
ASBA, P51X, P51X
! * Merge
NUMMRG, ALL, , , , LOW

```

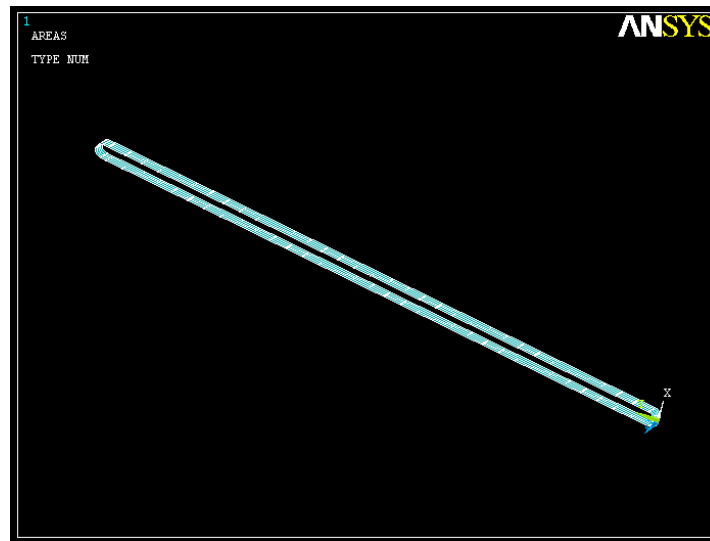



Figura 65. Modelado de la banda en ANSYS

4.4.3.5. Mallado del modelo

Código parametrizado para el mallado de la banda, este es el punto más importante de un MEF, ya que es aquí donde se transforma el conjunto de puntos, líneas y superficies que se han modelado, en algo que entienda el programa y como se ha visto en el punto 4.1.4 esto se consigue mallando el modelo (Figura 66).

```
! * Mallado
SMRT, 2
MSHAPE, 0, 2D
MSHKEY, 0
! *
FLST, 5, 321, 5, ORDE, 2
FI TEM, 5, 1
FI TEM, 5, -321
CM, _Y, AREA
ASEL, , , , P51X
CM, _Y1, AREA
CHKMSH, ' AREA'
CMSEL, S, _Y
! *
AMESH, _Y1
! *
CMDELE, _Y
CMDELE, _Y1
CMDELE, _Y2
! *
```

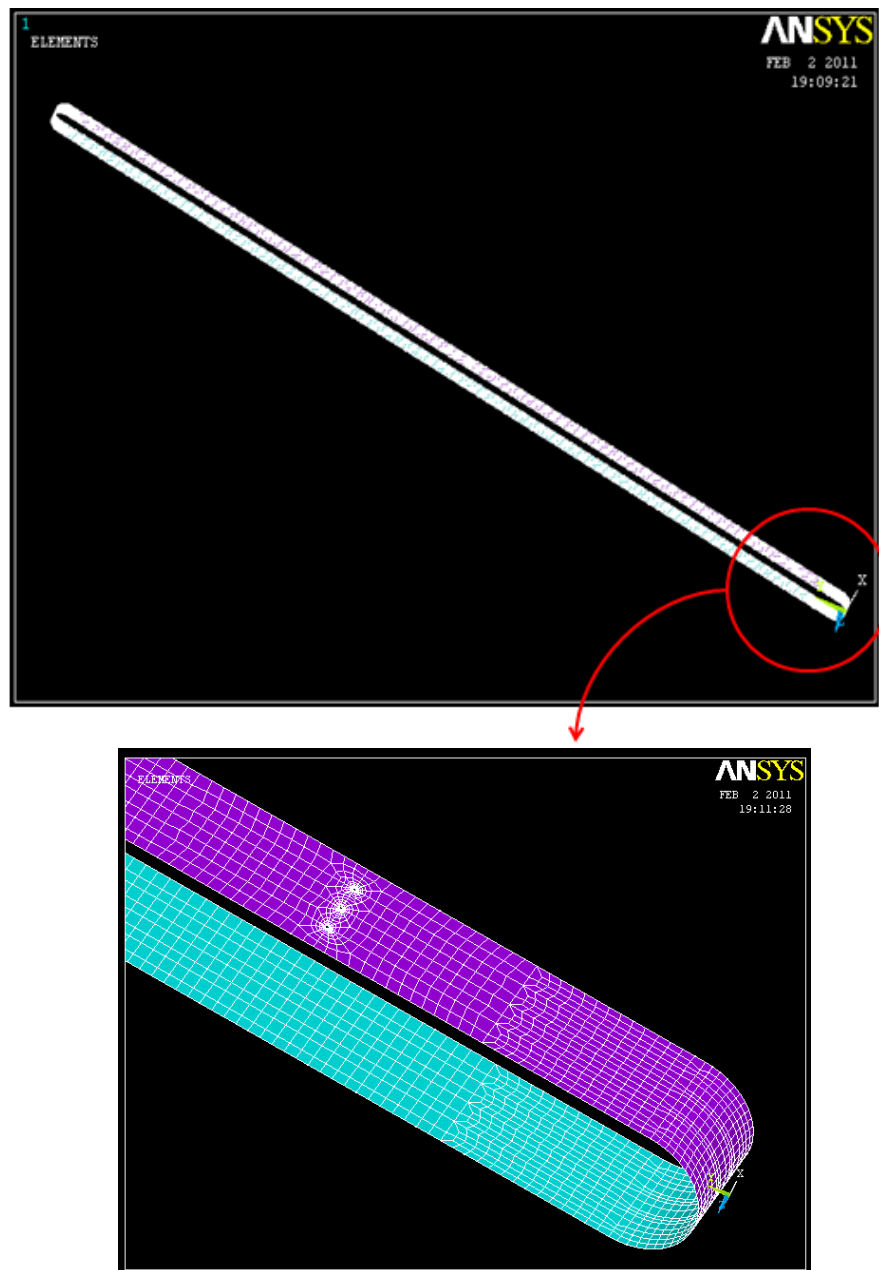


Figura 66. Mallado de la banda en ANSYS

4.4.3.6. Restricciones sobre el modelo

Código parametrizado, para la definición de las restricciones que actúan sobre la banda. Donde se introduce la gravedad y los empotramientos y apoyos que tiene la banda, es decir, como la banda está en contacto con el tambor accionador (superior) y con el tambor tensor (inferior) (Figura 67).

```

!* Restricciones
!* Definición de la gravedad
ACEL, 0, 9.81, 0,
!* Restricciones superiores

ALLSEL, BELOW, LINE
LSEL, S, LOC, Y, 12.13, 12.15
*GET, num_L, LINE, , COUNT, , , ,
!*
*GET, min_L, LINE, , NUM, MIN, , , ,
L1=min_L
*DO, i, 1, num_L
FLST, 2, 1, 4, ORDE, 1
FITEM, 2, L1
!*
/GO
DL, P51X, , UX,
*GET, L2, LINE, L1, NXTH
L1=L2
*ENDDO
ALLSEL, ALL
ALLSEL, BELOW, LINE
LSEL, S, LOC, Y, 12.13, 12.15
*GET, num_L, LINE, , COUNT, , , ,
!*
*GET, min_L, LINE, , NUM, MIN, , , ,
L1=min_L
*DO, i, 1, num_L
FLST, 2, 1, 4, ORDE, 1
FITEM, 2, L1
!*
/GO
DL, P51X, , UY,
*GET, L2, LINE, L1, NXTH
L1=L2
*ENDDO
ALLSEL, ALL
ALLSEL, BELOW, LINE
LSEL, S, LOC, Y, 12.13, 12.15
*GET, num_L, LINE, , COUNT, , , ,
!*
*GET, min_L, LINE, , NUM, MIN, , , ,
L1=min_L
*DO, i, 1, num_L
FLST, 2, 1, 4, ORDE, 1
FITEM, 2, L1
!*
/GO
DL, P51X, , UZ,
*GET, L2, LINE, L1, NXTH
L1=L2

```

```

*ENDDO
ALLSEL, ALL
ALLSEL, BELOW, LINE
LSEL, S, LOC, Y, 12.13, 12.15
*GET, num_L, LINE, , COUNT, , , ,
!*
*GET, min_L, LINE, , NUM, MIN, , , ,
L1=min_L
*DO, i, 1, num_L
FLST, 2, 1, 4, ORDE, 1
FITEM, 2, L1
!*
/GO
DL, P51X, , ROTX,
*GET, L2, LINE, L1, NXTH
L1=L2
*ENDDO
ALLSEL, ALL
ALLSEL, BELOW, LINE
LSEL, S, LOC, Y, 12.13, 12.15
*GET, num_L, LINE, , COUNT, , , ,
!*
*GET, min_L, LINE, , NUM, MIN, , , ,
L1=min_L
*DO, i, 1, num_L
FLST, 2, 1, 4, ORDE, 1
FITEM, 2, L1
!*
/GO
DL, P51X, , ROTY,
*GET, L2, LINE, L1, NXTH
L1=L2
*ENDDO
ALLSEL, ALL
ALLSEL, BELOW, LINE
LSEL, S, LOC, Y, 12.13, 12.15
*GET, num_L, LINE, , COUNT, , , ,
!*
*GET, min_L, LINE, , NUM, MIN, , , ,
L1=min_L
*DO, i, 1, num_L
FLST, 2, 1, 4, ORDE, 1
FITEM, 2, L1
!*
/GO
DL, P51X, , ROTZ,
*GET, L2, LINE, L1, NXTH
L1=L2
*ENDDO
ALLSEL, ALL
!* Restricciones inferiores

```

```

ALLSEL, BELOW, LINE
LSEL, S, LOC, Y, 0.14
*GET, num_L, LINE, , COUNT, , , ,
!*
*GET, mi_n_L, LINE, , NUM, MIN, , , ,
,
L1=mi_n_L
*DO, i, 1, num_L
FLST, 2, 1, 4, ORDE, 1
FITEM, 2, L1
!*
/GO
DL, P51X, , UX,
*GET, L2, LINE, L1, NXTH
L1=L2
*ENDDO
ALLSEL, ALL
ALLSEL, BELOW, LINE
LSEL, S, LOC, Y, 0.14
*GET, num_L, LINE, , COUNT, , , ,
!*
*GET, mi_n_L, LINE, , NUM, MIN, , , ,
L1=mi_n_L
*DO, i, 1, num_L
FLST, 2, 1, 4, ORDE, 1
FITEM, 2, L1
!*
/GO
DL, P51X, , UZ,
*GET, L2, LINE, L1, NXTH
L1=L2
*ENDDO
ALLSEL, ALL
ALLSEL, BELOW, LINE
LSEL, S, LOC, Y, 0.14
*GET, num_L, LINE, , COUNT, , , ,
!*
*GET, mi_n_L, LINE, , NUM, MIN, , , ,
L1=mi_n_L
*DO, i, 1, num_L
FLST, 2, 1, 4, ORDE, 1
FITEM, 2, L1
!*
/GO
DL, P51X, , ROTX,
*GET, L2, LINE, L1, NXTH
L1=L2
*ENDDO
ALLSEL, ALL
ALLSEL, BELOW, LINE
LSEL, S, LOC, Y, 0.14
*GET, num_L, LINE, , COUNT, , , ,

```

```

!*
*GET, mi_n_L, LINE, , NUM, MIN, , , ,
L1=mi_n_L
*DO, i, 1, num_L
FLST, 2, 1, 4, ORDE, 1
FITEM, 2, L1
!*
/GO
DL, P51X, , ROTY,
*GET, L2, LINE, L1, NXTH
L1=L2
*ENDDO
ALLSEL, ALL
ALLSEL, BELOW, LINE
LSEL, S, LOC, Y, 0.14
*GET, num_L, LINE, , COUNT, , , ,
!*
*GET, mi_n_L, LINE, , NUM, MIN, , , ,
L1=mi_n_L
*DO, i, 1, num_L
FLST, 2, 1, 4, ORDE, 1
FITEM, 2, L1
!*
/GO
DL, P51X, , ROTZ,
*GET, L2, LINE, L1, NXTH
L1=L2
*ENDDO
ALLSEL, ALL

```

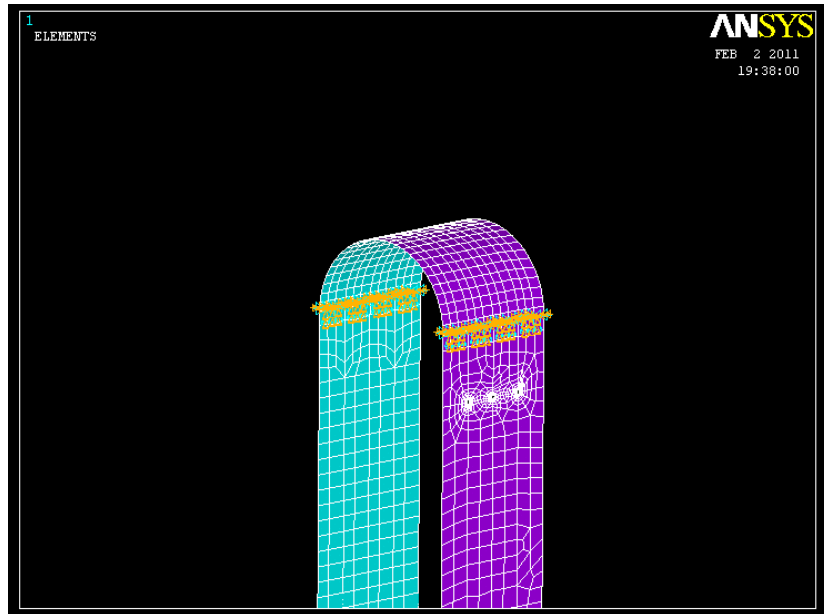


Figura 67. Ejemplo de las restricciones en el parte superior de banda en ANSYS

4.4.3.7. Cargas que afectan al modelo

Código parametrizado para la ubicación y definición de las cargas que tendrá que soportar la banda. La carga se ha simplificado a una carga puntual aplicada en un punto, donde estaría la unión del cangilón a la banda, excepto para 3 cangilones donde, como se ha visto anteriormente, se han simulado los agujeros de los taladros (Figura 68).

```
! * Cargas
ALLSEL, BELOW, LINE
KSEL, S, LOC, Z, 0. 01, 0. 23
KSEL, R, LOC, X, 0. 27, 0. 29
KSEL, U, LOC, Y, 0. 857, 0. 865
KSEL, U, LOC, Y, 5. 9, 5. 91
KSEL, U, LOC, Y, 12. 02, 12. 03
*GET, num_KP, KP, , COUNT, , , ,
! *
*GET, mi_n_KP, KP, , NUM, MI N, , , ,
KP1=mi_n_KP
*DO, i, 1, num_KP
FLST, 2, 1, 4, ORDE, 1
FI TEM, 2, KP1
! *
/GO
FK, P51X, FY, VALOR PARAMETRIZADO (CARGA)
```

```
*GET, KP2, KP, KP1, NXTH  
KP1=KP2  
*ENDDO  
ALLSEL, ALL
```

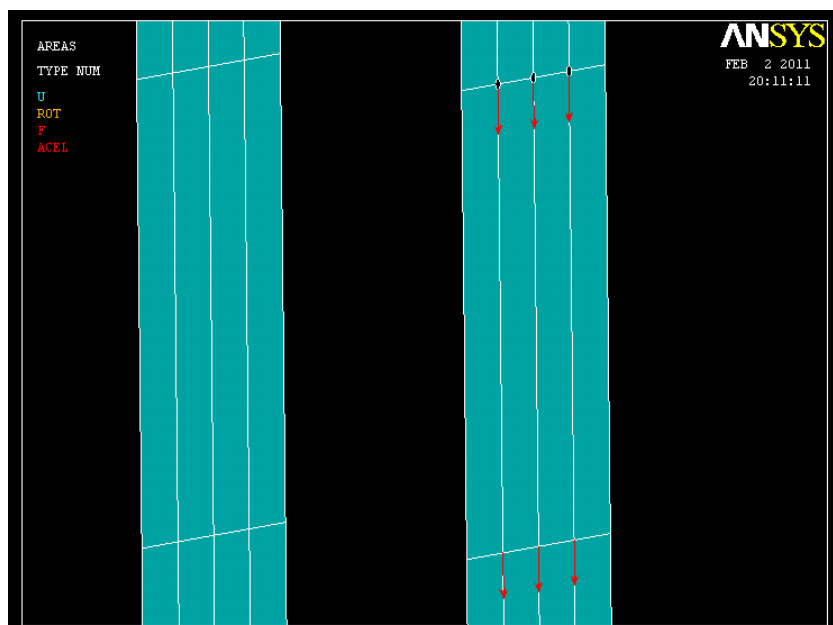


Figura 68. Ejemplo de las cargas que actúan sobre la banda en ANSYS

Llegados a este punto, tenemos el modelo totalmente parametrizado y listo poder ser usado en ANSYS. Recordando el proceso, el usuario utilizará el software de dimensionamiento y parametrización de elevadores de cangilones, dimensionará su instalación y automáticamente esta se parametrizará. Posteriormente el usuario ejecutará ANSYS y abrirá el archivo .txt, donde está su instalación parametrizada. Una vez tenga el archivo cargado, tan solo tendrá que ejecutar el programa y este resolverá el modelo de elementos finitos creado. Finalmente el usuario tendrá a su disposición todo tipo de información y resultados generados por ANSYS.

CAPÍTULO V

5. EJEMPLO DE CÁLCULO

5.1. Instalación de una planta de tratamiento de grano de café

El objetivo es el diseño de un elevador de cangilones para una planta de tratamiento, que permita obtener un café que cumpla con las exigencias de calidad más estrictas y esté listo para poder ser comercializado. Para ello se necesita un elevador encargado de introducir el material en un silo, que posteriormente alimentará una trituradora, y así paso a paso hasta conseguir un café molido óptimo para el consumo.

Las premisas generales para el dimensionamiento de la instalación son las siguientes:




- **Material:** Café (600 kg/m^3)
- **Capacidad:** $15 \text{ m}^3/\text{h}$
- **Altura:** 12 m
- **Sistema de control de la banda**


Una vez conocida la instalación y los datos técnicos de la misma, se procede al dimensionamiento del elevador de cangilones con el “*SOFTWARE DE DIMENSIONAMIENTO DE ELEVADORES DE CANGILONES*”, creado para tal fin.


5.2. Ejecución y Resultados del Software

El programa se inicia introduciendo los tres parámetros (material, capacidad y altura), que debe cumplir el elevador (Figura 69).

Instrucciones de uso

- Seguir las ventanas pinchando en los botones de atrás o adelante --> 
- Rellenar las celdas con el siguiente formato --> 
- Las celdas con recuadro rojo, son datos resultado --> 

1. Datos de entrada		
Material:	Cafe	
Capacidad (Q):	15	m ³ /h
Altura (H):	12	m






2. Restricciones Material


Figura 69. Introducción datos de entrada.

Una vez introducidos los parámetros, se pasa a la siguiente ventana y el programa nos muestra las restricciones del material seleccionado (Figura 70).

Instrucciones de uso

- Seguir las ventanas pinchando en los botones de atrás o adelante --> 
- Rellenar las celdas con el siguiente formato --> 
- Las celdas con recuadro rojo, son datos resultado --> 

1. Datos de entrada		
2. Restricciones Material		
Tipo de material:	Alimentario	
Densidad:	600	kg/m ³
Tipo de descarga:	Centrifuga	
Organo tractor:	Banda	



3. Tipo de cangilón

Figura 70. Restricciones del material.

Se puede ver como se trata de un material alimentario, que tiene una densidad de 600 kg/m³, la descarga deberá ser de tipo centrifuga y el organo tractor será una banda transportadora.

A continuacion se define el tipo de cangilón y el material del mismo (Figura 71).

Figura 71. Selección del tipo de cangilón.

Una vez definido el tipo de cangilón, se ha elegido el MAXI-TUFF A-A de polietileno de alta densidad, cangilón óptimo dada la capacidad a transportar. El siguiente paso es seleccionar el modelo de elevador (Figura 72).

Modelo	Cap. MIN	Cap. MAX (m³/h)	
B85A11	15	24	de Sweetmfg ©

Datos del elevador:		
Modelo:	B85A11	
Tamaño cangilón:	8x5	
Velocidad:	0.9	m/s
Velocidad tambor:	62	rpm
Diámetro tambor:	0.28	m
Capacidad mínima:	15	m³/h
Capacidad máxima:	24	m³/h

Figura 72. Selección modelo del elevador.

Como se puede ver en la Figura 72, el modelo seleccionado es el B85A11, cuyo rango de capacidades cumple con las necesidades de la instalación, también pueden verse algunas de las características del modelo como: velocidad, diámetro tambor, etc.

La siguiente ventana calcula automáticamente el paso del elevador y lo muestra en pantalla (Figura 73).

4. Modelo de elevador

5. Ajuste del paso del elevador (t)

Formula:

$$t = 3,6 \frac{i \cdot \rho \cdot \varphi}{Q} v$$

Donde:

- t = paso (m), $t \in [2h, 3h]$ siendo h la altura del cangilón.
- i = Volumen del cangilón (l)
- ρ = Densidad de la carga (kg/m^3)
- φ = Coef. relleno del cangilón, entre 0,6 y 0,9.
- v = Velocidad del elevador (m/s)
- Q = Capacidad de transporte (t/h)

Comprobación:

h =	0,133	m
2h =	0,27	m
t =	0,36	m
3h =	0,40	m

OK

6. Cálculo del ancho de la correa (A_{CORREA})

Figura 73. Cálculo del paso del elevador.

En este caso, el paso óptimo para el elevador es $t = 0.36$ m, con los parámetros ya calculados, el programa determina la anchura y la longitud que tendrá la banda del elevador, Figura 74 y Figura 75.

4. Modelo de elevador

5. Ajuste del paso del elevador (t)

6. Cálculo del ancho de la correa (A_{CORREA})

Formula:

$$A_{\text{CORREA}} = L_c + K$$

Donde:

- A_{CORREA} = Ancho de la correa (mm)
- L_c = Longitud del cangilón (mm)
- K = Variable $\varphi [20, 50]$ (mm)

Comprobación:

K =	34	mm
L_c =	206	mm
A_{CORREA} =	240	mm

7. Cálculo de la longitud de la correa (L_{CORREA})

Figura 74. Cálculo del ancho de la banda.

4. Modelo de elevador

5. Ajuste del paso del elevador (t)

6. Cálculo del ancho de la correa (A_{CORREA})

7. Cálculo de la longitud de la correa (L_{CORREA})

Formula:

$$L_{\text{CORREA}} = 2 \cdot H + \pi \cdot D_T + l$$

Donde:

- L_{CORREA} = Longitud de la correa (m)
- H = Altura del elevador (m)
- D_T = Diámetro del tambor (m)

Comprobación:

H =	12	m
D_T =	0,280	m
L_{CORREA} =	26	m

8. Cálculo de la fuerza sobre la correa (F)

Figura 75. Cálculo de la longitud de la banda.

La banda del elevador, tendrá un ancho (A_{correa}) de 240mm y una longitud (L_{correa}) total de 26 m. Para definir totalmente la correa, sólo falta determinar cual es la fuerza y la tensión (por unidad de longitud), que tendrá que soportar, para así poder determinar el espesor de la misma Figura 76 y Figura 77.

7. Cálculo de la longitud de la correa (L_{CORREA})

8. Cálculo de la fuerza sobre la correa (F)

Formula:

$$F = 1,2 \frac{Q}{3,6 \cdot v} (H + H_o)$$

Donde:

F = Esfuerzo (kg)
 Q = Capacidad de transporte (t/h)
 H = Altura del elevador (m)
 H_o = Factor de corrección, por tipo de carga (m)
 v = Velocidad del elevador (m/s)

Q =	9	t/h
H =	12	m
H _o =	3,8	m
v =	0,9	m/s
F =	52,87	kg

9. Cálculo de la tensión en la correa (T)

10. Modelo de correa

Figura 76. Cálculo de la fuerza sobre el elevador.

8. Cálculo de la fuerza sobre la correa (F)

9. Cálculo de la tensión en la correa (T)

Formula:

$$T = \frac{F \cdot g}{A_{\text{CORREA}}}$$

Donde:

T = Tensión (N/mm)
 F = Esfuerzo (kg)
 g = gravedad (9,81 m/s²)
 A_{correa} = Ancho de la correa (mm)

F =	52,87	kg
A _{CORREA} =	240	mm
T =	2,15	N/mm

10. Modelo de correa

11. Cálculo de la potencia del motor (P)

12. Modelo de motorreductor

Figura 77. Cálculo de la tensión (esfuerzo axial) en la correa.

Cabe destacar que, al tratarse de una correa, el término tensión puede inducir a error, ya que cuando se habla de fuerzas (N), se tiende a llamar fuerza (N) cuando actúa sobre un sólido y tensión (N) cuando actúa sobre un cable o correa. Y aunque se llamen de distinta forma se está hablando de los mismo, que es una fuerza en Newtons, correspondiente a lo calculado en el paso 8 (cálculo de la fuerza sobre la correa).

En el paso 9 (cálculo de la tensión en la correa), lo que se está calculando es un esfuerzo axial (esfuerzo interno) denominado correctamente tensión, que es una fuerza por unidad de longitud (N/mm) o por unidad de superficie (N/mm²).

Una vez que el programa ya ha calculado estos parámetros, se determina cual será el modelo de banda más acorde en cuanto a resistencia y en cuanto al material a transportar, obteniendo lo que muestra la Figura 78.

10. Modelo de correa

Tipo de material: Alimentario

Tipo de correa: **Serie ESPOT® de ESBELT.**

	Modelo	Carga máxima recomendada (N/mm)	Peso banda (kg/m ²)	Espesor correa (mm)
Selección:	E40 CC	50	7,4	9,2

Datos del elevador:

Modelo:	E40 CC		
Carga máxima recomendada:	50	N/mm	
Espesor correa:	7,4	mm	
Peso banda:	9,2	kg/m ²	
Carga rotura:	400	N/mm	

◀ ▶

11. Cálculo de la potencia del motor (P)

Figura 78. Selección del modelo de correa para el elevador.

Al tratarse de un material alimentario, se elegirá un modelo de banda de la serie ESPOT, en concreto el modelo E40CC, con un espesor de correa de 9,2 mm, y una carga máxima recomendada (tension máxima recomendada), de 50 N/mm, en este caso muy por debajo de su límite.

Por último, se calcula la potencia necesaria para poner en funcionamiento el elevador, y se determina el modelo de motorreductor que se utilizará (Figura 79 y Figura 80).

10. Modelo de correa

11. Cálculo de la potencia del motor (P)

Formula:

$$P = \frac{F \cdot v}{75 \cdot \eta}$$

Donde:

- P = Potencia necesaria (CV)
- F = Esfuerzo (kg)
- v = Velocidad del elevador (m/s)
- η = Rendimiento del motor

F =	52,67	kg
v =	0,9	mm
η =	0,85	
P =	0,74	CV

◀ ▶

12. Modelo de motorreductor

Figura 79. Cálculo de la potencia del motor.

11. Cálculo de la potencia del motor (P)

12. Modelo de motorreductor

	Modelo	Pot. MIN (CV)	Pot. MAX (CV)
Selección:	ME3	0,2	1

Datos del elevador:

Modelo:	ME3		
Potencia mínima:	0,2	CV	
Potencia máxima:	1	CV	
Serie del reductor:	L2		
Kit:	L2 K5		
Vel. del motor	1500	rpm	
Vel. salida reductor	62	rpm	
Relación de transmisión	24,19		

◀ ▶

13. Elementos auxiliares de control

Figura 80. Selección del modelo de motorreductor.

El programa ha calculado que la potencia deberá de ser 0,74 CV para su correcto funcionamiento, y el modelo seleccionado es el ME3, el cual tiene un rango de trabajo de entre 0,2 y 1 CV.

Dado que en los requisitos se indicaba que sería necesario un sistema de monitorización de la velocidad y alineación de la banda, en el paso 13, se selecciona este elemento de control, como muestra la Figura 81.

8. Cálculo de la fuerza sobre la correa (F)

9. Cálculo de la tensión en la correa (T)

10. Modelo de correa

11. Cálculo de la potencia del motor (P)

12. Modelo de motorreductor

13. Elementos auxiliares de control

Seleccionar

☐ Variador de frecuencia de control vectorial
☐ Indicador rotativo de nivel
☒ Monitoreo de la velocidad y alineación de la banda

◀ ▶

Figura 81. Selección de los elementos auxiliares.

Así pues, una vez dimensionado totalmente el elevador, sólo queda obtener los archivos que nos genera el programa (Figura 82).

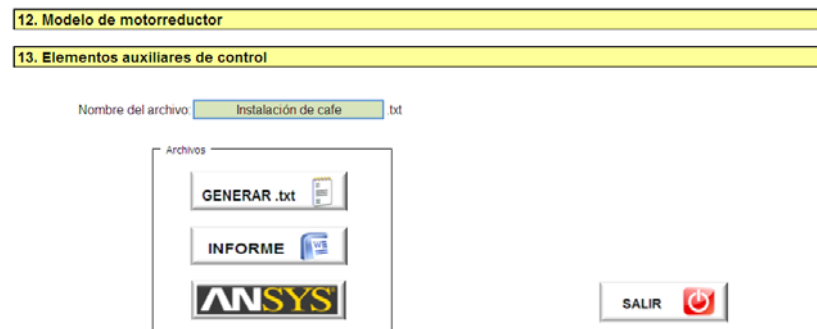


Figura 82. Archivos generados por el programa.

Introduciendo el nombre del archivo (Instalación de café), y después pinchando sobre el botón GENERAR .txt, obtenemos el archivo de la Figura 83, donde el elevador esta parametrizado para ANSYS.

The screenshot shows a Notepad window titled "Instalacion de cafe - Bloc de notas". The text inside is an ANSYS input file (.txt) for a structural analysis of an elevator. The content is as follows:

```
!* Tipo analisis
/NOPR
/PMETH,OFF,0
KEYW,PR_SET,1
KEYW,PR_STRUC,1
KEYW,PR_THERM,0
KEYW,PR_MULTI,0
/GO
/COM,
/COM,Preferences for GUI filtering have been set to display:
/COM, Structural
!*
FINISH

!* Seleccion tipo de material y constantes

/PREP7
!*
ET,1,SHELL181
!*
R,1,0.0062, , , , ,
RMORE, , , ,
RMORE, ,
RMORE, ,
!*
!* Seleccion propiedades del material mooney-rivlin

TB,HYPE,1,1,2,MOON
TBTEMP,0
TBDATA,,6700000,1680000,0,,

/PREP7
paso_cangilon=0.36
altura_cangilon=12
radio_tambor=0.14
!* num_cangilones=altura_cangilon/paso_cangilon
num_cangilones=33
```

Figura 83. Archivo .txt, con el elevador parametrizado.

A continuación, pinchando sobre el botón "Informe", se abrirá el documento resumen con toda la información del elevador, que se muestra en la Figura 84.

sábado, 05 de febrero de 2011, 17:02



INFORME PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN ELEVADOR DE CANGILONES

El resultado del programa de dimensionamiento y parametrización del elevador de cangilones, según las opciones que usted ha ido seleccionando, se muestra a continuación.

Datos de partida

Material a transportar	Café	
Densidad	600	kg/m ³
Capacidad de transporte	15	m ³ /h (9 t/h)
Altura de elevación	12	m

Resultados del programa

El elevador de cangilones será fabricado en láminas de acero al carbono en diferentes calibres y estará equipado con cangilones, con las características que se indican más abajo, escalera protectora, andamio y barandillas, transmisión de potencia que consta de juego de poleas, bandas, engranajes, para ser accionado por un motor eléctrico, cuyas características se verán más adelante.

1. Órgano tractor

Al no ser un material abrasivo, el órgano tractor es una banda.

2. Tipo de descarga

El elevador de cangilones tendrá una descarga de tipo centrífuga, es decir, el órgano de tracción se desplaza a altas velocidades provocando que el material sea lanzado en el punto superior del elevador por la acción de la fuerza centrífuga.

3. Cangilones

El tipo de **cangilón** seleccionado es:

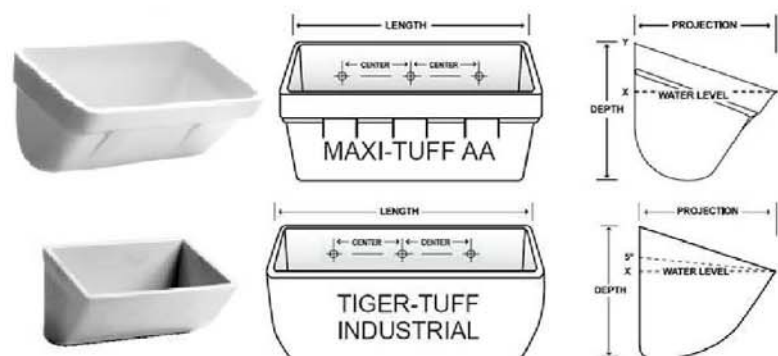
- **MAXI TUFF A-A ® de Maxi-Lift Inc.**



sábado, 05 de febrero de 2011, 17:02

Con las siguientes características:

TAMAÑO CANGILON (mm)				CAPACIDAD (l)			PESO CANGILON (kg)
Tamaño Cangilón	Ancho	Proyección	Profundidad	Nivel Agua X-X	Capacidad al 100% X-Y	Capacidad X-X	Polietileno
8x5	206,375	130,175	133,35	1,47	1,83	1,47	2,25



4. Elevador

El **modelo** del elevador seleccionado es de la marca Sweetmfg, líder mundial en la fabricación de elevador de cangilones y es él:

- B85A11

Con las siguientes características:

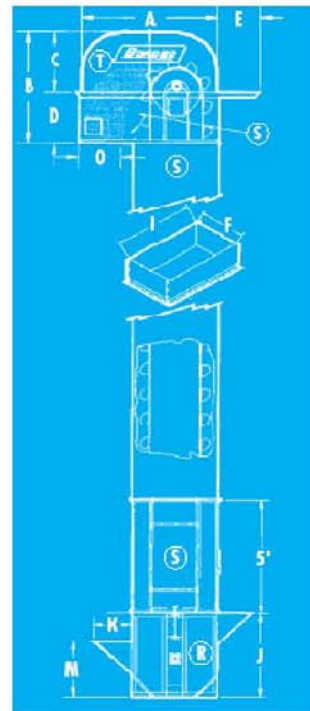
- Tamaño cangilón: 8x5
- Velocidad: 0,9 m
- Velocidad tambor: 62 rpm
- Diámetro tambor: 0,28 m
- Capacidad mínima: 15 m³/h
- Capacidad máxima: 24 m³/h



sábado, 05 de febrero de 2011, 17:02

Y con estas dimensiones:

Modelo elevador	B85A11
DIMENSIONES (mm)	
A	1168
B	1067
C	584
D	483
E	559
F	305
I	660
J	813
K	356
M	508
O	305



5. Otros parámetros del elevador

- Paso del elevador (t): 0,36 m
- Ancho de la banda (A_{correa}): 240 mm
- Longitud de la banda (L_{correa}): 26 m
- Esfuerzo de la correa (F): 52,7 kg
- Tensión en la correa (T): 2,15 N/mm

6. Banda

Esta selección depende de si el material a transportar es un material alimentario o industrial, la banda debe tener distintas características, en este caso se trata de Café, que es un material Alimentario, y la elegida es:

- **Serie ESPOT® de ESBELT.**
Modelo **E40 CC**



sábado, 05 de febrero de 2011, 17:02

Con las siguientes características:

- Carga máxima recomendada: 50 N/mm
- Espesor correa: 7,4 mm
- Paso banda: 9,2 kg/m²
- Carga rotura: 400 N/mm

7. Unidad de accionamiento

- Potencia necesaria (P): 0,74 CV

El motorreductor seleccionado tiene las siguientes características:

- Modelo: ME3
- Pot. Mínima (P_{min}): 0,2 CV
- Pot. Máxima (P_{max}): 1 CV
- Serie del reductor: L2
- Kit: L2.K5
- Vel. del motor (V_{motor}): 1500 rpm
- Vel. Salida reductor (V_{eje}): 62 rpm
- Relación de transmisión: 24,19

8. Elementos auxiliares de control

Usted ha seleccionado los siguientes sistemas de control:

- Monitoreo de la velocidad y alineación de la banda

Figura 84. Informe final con los resultados del programa.

Por ultimo, pinchando en el boton ANSYS, se abrirá el programa ANSYS para poder realizar el análisis del modelo creado.

5.3. Análisis de elementos finitos con ANSYS

Como se ha visto en el apartado 4.2, ANSYS permite realizar analisis de varios tipos y genera infinidad de resultados, a continuacion se van a mostrar, dos resultados, uno de los desplazamientos que se producirán en la banda y otro de las tensiones (tensión de Von-Misses) que la banda deberá de resistir.

En la Figura 85 se pueden observar los desplazamientos. Como se puede ver en la escala de colores inferior, el azul corresponde al maximo desplazamiento, el cual, se produce en la zona inferior de la banda.

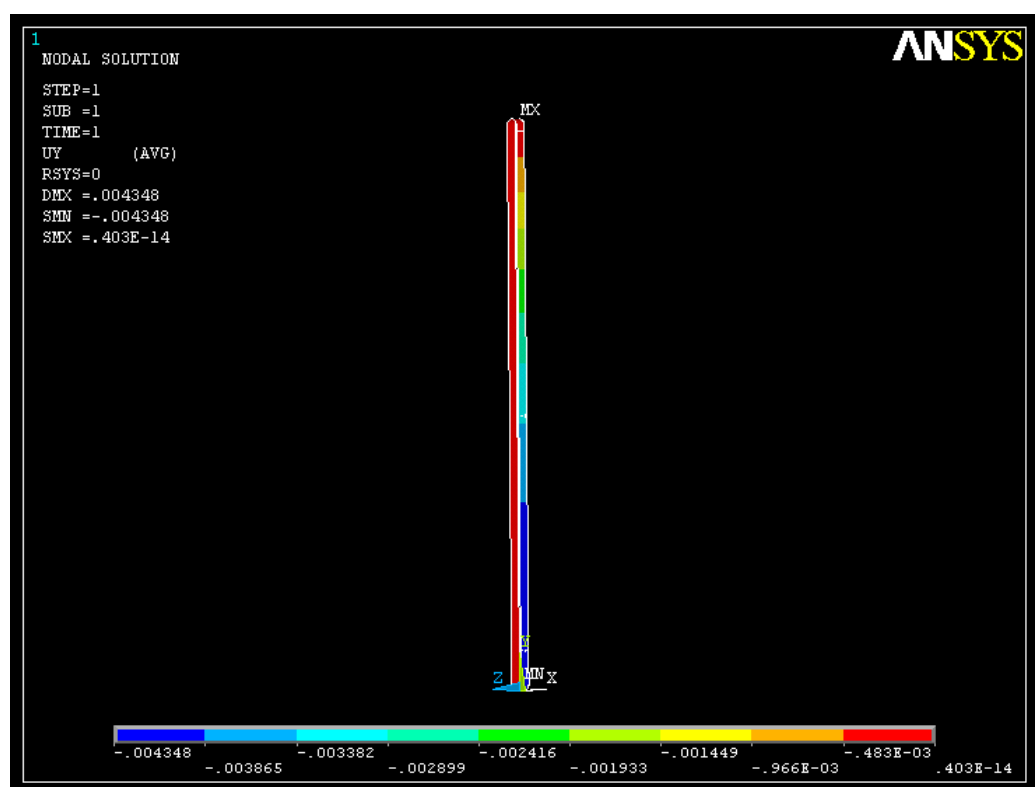


Figura 85. Desplazamientos en la banda.

Por otro lado la Figura 86 muestra el resultado del esfuerzo tensional, que deberá de soportar la banda del elevador de cangilones.

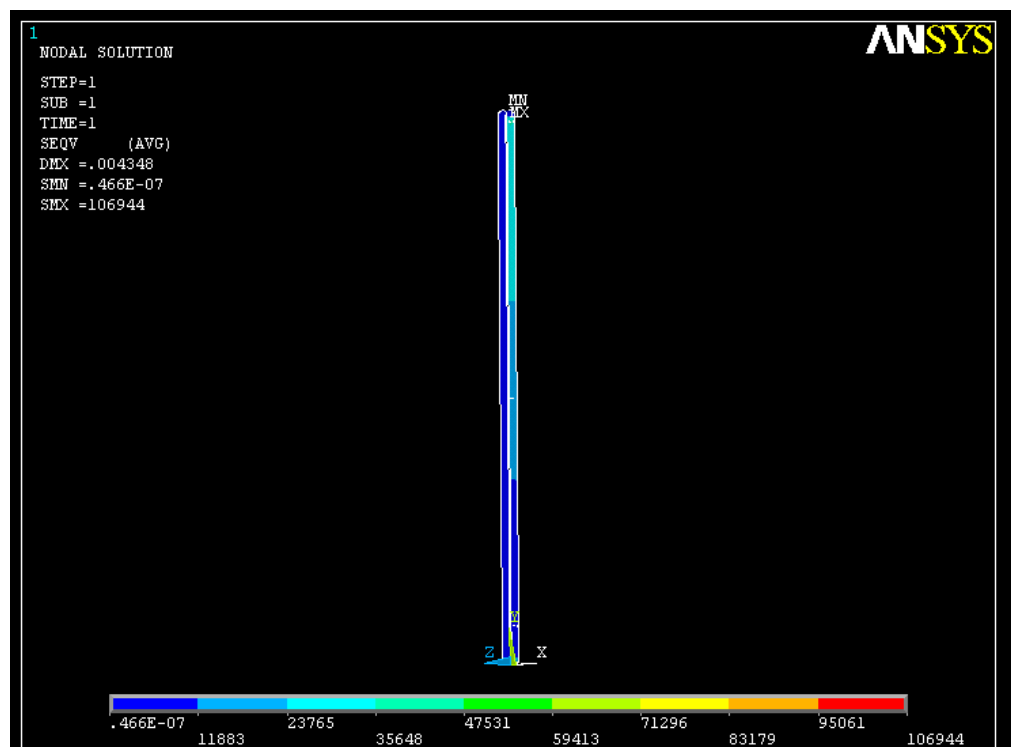


Figura 86. Análisis tensional de la banda.

En este caso, el rojo muestra el punto de máxima tensión, y este se produce en los taladros de fijación de los cangilones a la banda, como muestra la Figura 87.

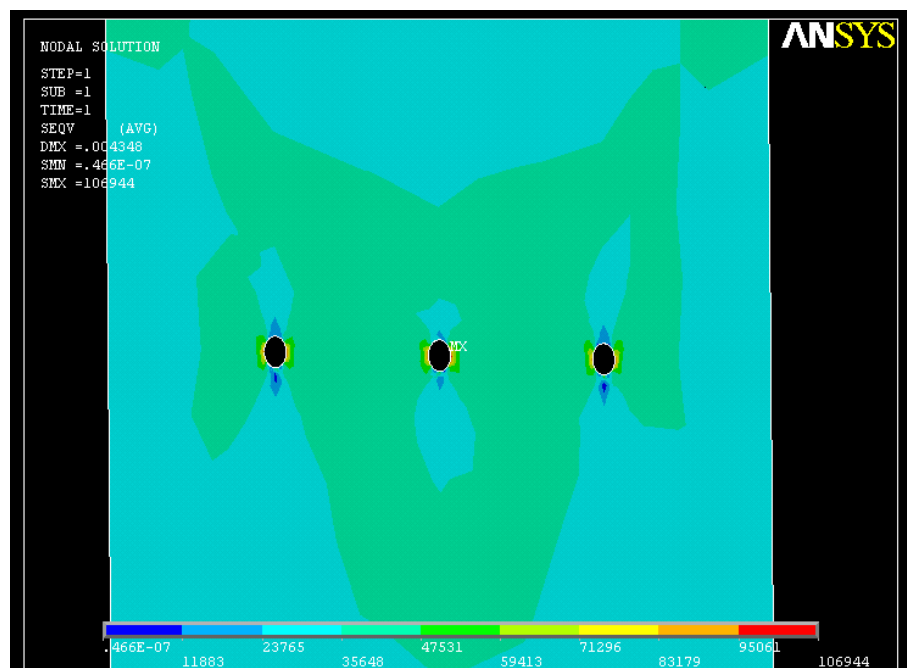


Figura 87. Puntos de máxima tensión en la banda.

A primera vista, parece que el análisis ha sido satisfactorio, ya que es evidente pensar que el punto de máxima tensión estará alrededor de los taladros de fijación, por actuar el taladro de concentrador de tensiones.

En este ejemplo de cálculo solo se muestran estos dos resultados, pero como se ve en la Figura 88, el usuario podría consultar multitud de resultados.

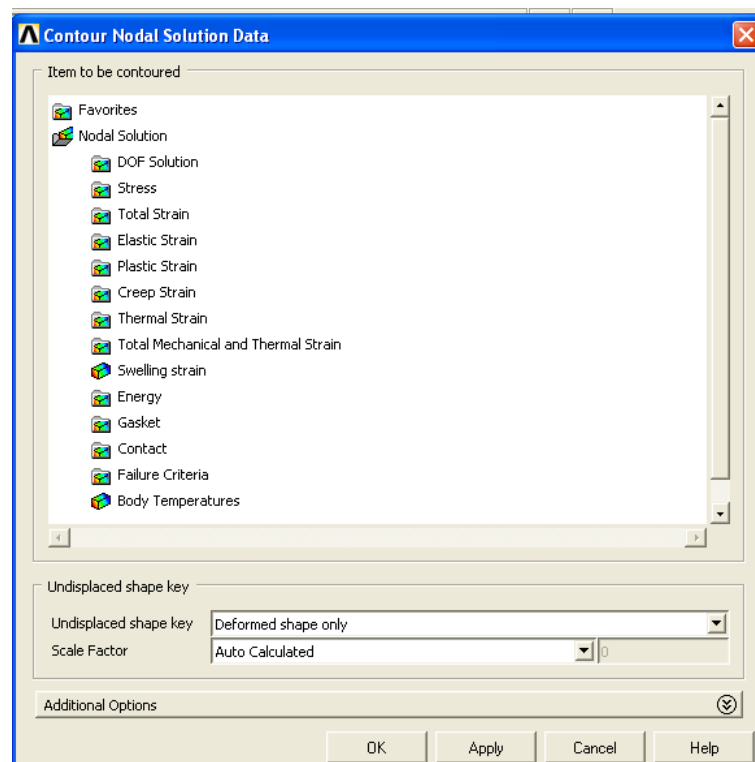


Figura 88. Contour Nodal Solution Data de ANSYS

Llegados a este punto, el proceso de dimensionamiento, parametrización y análisis del modelo ha llegado a su fin, quedando el programa a disposición de cualquier persona que desee utilizarlo.

Para dejar más claro el funcionamiento del programa y los resultados que se pueden obtener de él, a este documento le acompaña un video que muestra este mismo ejemplo de cálculo (Figura 89).

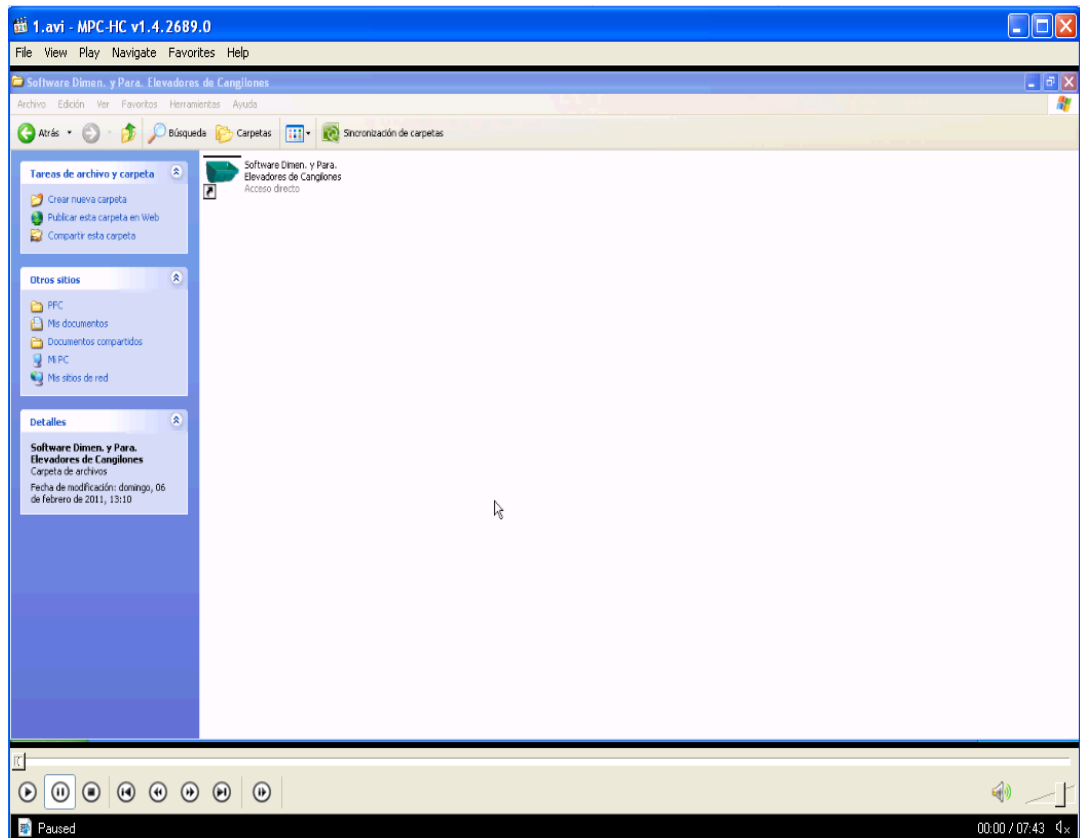


Figura 89. Captura de pantalla del video con el ejemplo de cálculo.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1. Conclusiones finales

Una vez finalizado el proyecto se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Se ha logrado con éxito el objetivo principal del proyecto, es decir, se ha parametrizado un modelo desde Microsoft Excel y posteriormente se ha utilizado en el programa ANSYS correctamente.
- La compatibilidad entre Microsoft Excel y el programa de análisis por elementos finitos ANSYS, permite la creación de diseños complicados que pueden ser analizados, facilitando enormemente la simulación de un elemento mecánico.
- Se ha realizado un análisis de elementos finitos sobre la banda de un elevador de cangilones que ha arrojado resultados óptimos.
- La simulación por ordenador permite comprender de manera más intuitiva y rápida el funcionamiento de un componente mecánico (banda del elevador de cangilones), en todas las facetas de la ingeniería, estructural, térmica, magnética, etc.

6.2. Trabajos futuros

Los futuros desarrollos a partir de este proyecto, y siguiendo la línea de trabajos anteriores que se pueden llevar a cabo serían:

- Seguir incrementando, con las técnicas utilizadas en este proyecto, el Software de dimensionamiento y parametrización de un elevador de cangilones, introduciendo en el programa una mayor variedad de materiales, más tipos de cangilones, elevadores, bandas, etc., a la hora de la elección.
- Realizar un análisis de elementos finitos del elevador de cangilones completo, pudiéndose estudiar cómo interactúan unos elementos con otros.
- Realizar un análisis dinámico por elementos finitos en ANSYS Ls-Dyna, del comportamiento de la banda en movimiento.
- Realizar la caracterización del material de la banda del elevador de cangilones, para poder incluirlo en la parametrización y así acercar los resultados arrojados por el programa a la realidad.
- Añadir nuevos componentes mecánicos al dimensionamiento del mismo, (plataformas, distribuidores,...) que formen un elevador de cangilones más complejo.
- Introducir el programa en la página web del Departamento de Ingeniería Mecánica, para que así pueda estar disponible para cualquier persona que lo desee.

CAPÍTULO VII

7. BIBLIOGRAFÍA

7.1. Referencias bibliográficas

- [1] Transportadores y elevadores. Miravete, Antonio y Larrode, Emilio. Editorial reverté SA. Edición 1996
- [2] Apuntes Transportes. Dpto. Ing. Mecánica UC3M. 2006
- [3] Transportes. Díaz López, Vicente, López Boada, Beatriz, López Boada, M^a Jesús, Álvarez Caldas, Carolina. Editorial UNED. Edición 2006
- [5] Manual Instructivo de Instalación y Operación - Sweet MANUFACTURING COMPANY. 2006
- [6] Software de cálculo de un elevador de cangilones. Luna Domingo, Juan Antonio. Proyecto fin de carrera. Área de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. 2006.
- [7] Simulación virtual de un elevador de cangilones. González Solís, Francisco. Proyecto fin de carrera. Área de Ingeniería Mecánica. Universidad Carlos III de Madrid. 2007.
- [13] Transporte y almacenamiento de materias primas en la industria básica. Targhetta Arriola, Luis, y López Roa, Agustín. Madrid, Edición Blume 1970

- [20] Finite Element Procedures, K. J. Bathe, Editorial Prentice Hall, 2nd edition, 1995.
- [23] Modelos de materiales hiperelásticos para el análisis de los elastómeros usando el MEF. González Carbonell, R.A.; Álvarez García, E.; Moya Rodríguez, J. L.; Abreu González, K. Revista de Ingeniería Mecánica, vol. 12, núm. 3, septiembre-diciembre, 2009, pp. 57-66. Instituto Superior Politécnico, José Antonio Echeverría, Cuba
- [24] Help del programa ANSYS , Versión 9.0.

7.2. Referencias vía Web

- [4] Dimensiones cangilones, Grupo 4B, 2008.
<http://www.go4b.co.uk/spanish/measureBucket.asp>, [2011]
- [8] Hojas de cálculo, XLTDAY, 2003-2011.
http://www.xltday.net/general_historiadeexcel.asp [2011]
- [9] Microsoft Office Excel, Microsoft Corporation, 2011.
<http://office.microsoft.com/es-es/excel-help/ayuda-y-procedimientos-de-excel-FX010064695.aspx?CTT=97>, [2011]
- [10] Microsoft Visual Basic, Microsoft, 2011.
<http://msdn.microsoft.com/es-es/vbasic/default.aspx>, [2011]
- [11] Características Microsoft Excel, ALEGSA , 1998 – 2010.
<http://www.alegsa.com.ar/Diccionario/C/2565.php>, [2011]
- [12] Macros en VB, Todoexpertos.com, 1999 – 2011.
<http://www.todoexpertos.com/categorias/tecnologia-e-internet/software-y-aplicaciones/microsoft-excel/expertos>, [2011]
- [14] Catálogo de cangilones industriales, Maxi-Lift, Inc, 2010.
<http://www.maxilift.com/es/Default.aspx>, [2011]

- [15] Catálogo de elevadores de cangilones industriales, Sweet Manufacturing Company, 2011.
<http://sweetmfg.publishpath.com/bucketelevators>, [2010]
- [16] Catálogo bandas transportadoras, Esbelt.com, 2011.
<http://www.esbelt.com/index.php?IDM=ESP>, [2010]
- [17] Macros en MS Excel, ManualesPDF.es, 2007.
www.manualespdf.es, [2011]
- [18] Tutorial ANSYS castellano, Dres. Juan José del Coz Díaz / D. Fco José Surez Domínguez. E.T.S. Ingenieros Industriales-GIJON
<http://www.construccion.uniovi.es>, [2011]
- [19] Análisis por elementos finitos, ASME International, 1996-2011.
http://www.asme.org/Communities/History/Resources/Interactive_Timeline.cfm, [2011]
- [21] Aplicación elementos finitos, Universidad Simón Bolívar, 2010.
<http://prof.usb.ve/ecasanov/> [2008]
- [22] ANSYS, ANSYS Inc., 2011.
<http://www.ansys.com/About+ANSYS>, [2011]